CARLOS AMADOR

El mundo finito

DESARROLLO SUSTENTABLE
EN EL SIGLO DE ORO DE LA HUMANIDAD

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE QUÍMICA
FONDO DE CULTURA ECONÓMICA

Primera edición, 2010

Amador, Carlos
El mundo finito. Desarrollo sustentable en el siglo de oro de la humanidad / Carlos Amador. — México : FCE, UNAM, Facultad de Química, 2010
206 p. ; 17 × 11 cm — (Colec. Popular ; 698)
ISBN 978-607-16-0429-3

1. Desarrollo sustentable 2. Desarrollo económico — Aspectos ambientales 3. Política ambiental 4. Ecología I. Ser. II. t.

LC HD75.6 Dewey 339.9 A697m

Distribución mundial

Este libro se publicó gracias al apoyo del proyecto
PAPIME PE201609 de la DGAPA-UNAM

Diseño de portada: Paola Álvarez Baldit

D. R. © 2010, Universidad Nacional Autónoma de México
Facultad de Química, Ciudad Universitaria, 04510 México, D. F.

D. R. © 2010, Fondo de Cultura Económica
Carretera Picacho-Ajusco, 227; 14738 México, D. F.
Empresa certificada ISO 9001: 2008

Comentarios: editorial@fondodeculturaeconomica.com
www.fondodeculturaeconomica.com
Tel. (55) 5227 4672; fax (55) 5227 4694

Se prohíbe la reproducción total o parcial de esta obra, sea cual fuere el medio, sin la anuencia por escrito del titular de los derechos.

ISBN 978-607-16-0429-3

Impreso en México • *Printed in Mexico*

A Carlos Amador Alonso, por el pasado
A Laura Amador Domínguez, por el futuro

ÍNDICE

I. *El lío en el que estamos metidos* 9
II. *El siglo de oro del animal humano* 54
III. *¿Qué tantos somos tantitos?* 62
IV. *"Quesque" el mundo se va a acabar* 93
V. *El pico de Hubbert* 102
VI. *Problemático y febril* 112
VII. *El ambiente de nuestro siglo* 123
VIII. *Los políticos verdes de verdad* 137
IX. *La humanidad es una vieja plaga* 143
X. *Barbas a remojar* 147
XI. *Medidas de desigualdad* 153
XII. *La duración de la huella humana* 164
XIII. *Novedades en el frente* 172
XIV. *Nos sube la bilirrubina* 185
XV. *Estación Esperanza* 192

Epílogo 205

9-26
54-61
62-92
93-101

I. EL LÍO EN EL QUE ESTAMOS METIDOS

EL SIGLO DE ORO DEL ANIMAL HUMANO

La medida más obvia del éxito biológico de una especie es el número de sus ejemplares. Los bisontes europeos, casi extintos a mediados del siglo pasado, viven protegidos en la reserva de Puszcza Białowieska, el bosque virgen que le queda a Eurasia, dividido entre Polonia y Bielorrusia por un muro que también divide, en mitades casi exactas, a la población de 600 bisontes.[1] Todos los que quedan. Éste es un ejemplo de especie a la que no le está yendo muy bien. Como los bisontes europeos, cientos de miles de especies carecen de éxito biológico al iniciar el siglo XXI. No así el animal humano. Los 6800 millones de personas que actualmente habitamos el planeta somos, con mucho, la mayor población humana de la historia. Nuestro éxito biológico es indiscutible.

Pero no sólo disfrutamos de exuberancia biológica. Hay otras medidas claras del éxito de nuestra especie. Nuestra esperanza de vida media ha aumentado continuamente en los últimos 100 años para alcanzar su punto más alto hasta el momento: 68 años.[2] La mortalidad infantil ha disminuido continuamente, en particular desde 157 muertes por cada 1 000 niños nacidos vivos en el quinquenio 1950-1955 a 57 muertes en el quinquenio 2000-2005.[3] El consumo de proteínas cárnicas por persona ha aumentado casi al doble en 50 años.[4] La tasa de analfabetismo entre la población mayor de 15 años ha bajado continuamente: en 1970 era de más de 35%, mientras que actualmente se estima alrededor de 15%.[5] En estas medidas se comparan datos del pasado reciente, que es de cuando contamos con ellos. Pero hay millares de medidas adicionales, con distintos grados de objetividad, que reiteran este éxito. Nuestras favoritas personales —en caso de tenerlas, toda vez que mucha gente se inclina por privilegiar las visiones negativas del estado de la humanidad— a menudo son anecdóticas: seis de 12 alumnos en un curso de licenciatura en una universidad pública llevan su laptop a clase, cuando deja de haber mangos en el mercado empieza a haber mandarinas, existe la wikipedia y cientos de millones de personas la consultan, etcétera. Como arrogantemente decía una campaña publicitaria hace algunos años, *¿son éstos los mejores tiempos, o qué?*

---

[1] Alan Weisman, *The World Without us,* Thomas Dunne Books/ St. Martin's Press, Nueva York, 2007, p. 13.

[2] *2007 World Population Data Sheet,* Population Reference Bureau, www.prb.org.

Interesantemente, puede ser que no. Simultáneamente con las mejores condiciones en las que ha vivido la humanidad —y posiblemente como efecto de esta causa— su futuro se ve amenazado como nunca antes. Todas las ventajas de las que disfrutamos ahora, durante nuestro siglo de oro como especie, provienen del crecimiento de nuestras actividades. Tómese cualquier actividad humana como ejemplo, ya sea la competencia por un récord deportivo o la cantidad de un determinado producto. Encontraremos un avance sostenido. En algunos casos, el veloz progreso inicial se ha frenado un tanto, como por ejemplo con el récord mundial varonil de los 100 metros planos, que bajó seis décimas de segundo en la primera mitad del siglo pasado y sólo dos y media en la segunda mitad.[6] En otros casos el moderado progreso inicial se ha acelerado recientemente, como ocurre con nuestro consumo de petróleo, que aumentó 4% en el periodo de 1976 a 1986, 16% en los 10 años siguientes y 18% en los últimos 10 años.[7] El punto es que el progreso parece no conocer límites y nos hemos acostumbrado a que lo que ayer se hacía con cierto esfuerzo, en cierta escala y con cierto costo, hoy se haga con menor esfuerzo, a mayor escala y salga más barato. Pero esa costumbre, sólo respaldada por el induccionismo más elemental, está fatalmente infundada. En un mundo con límites, nada puede crecer indefinidamente. Un cuerpo humano no puede correr 100 metros en menos de cinco segundos, por más esteroides que inventemos y le inyectemos. No se pueden consumir más de 200 millones de barriles de petróleo diarios, por más pozos que perforemos.

---

[3] *Vital Signs 2006-2007: The Trends That Are Shaping Our Future,* The Worldwatch Institute, Worldwatch Books, W. W. Norton & Co., 2007, p. 79.

[4] *Ibidem*, p. 25.

[5] UNESCO 2000, http://www.uis.unesco.org/en/stats/statistics/literacy-2000.htm.

[6] http://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Image:World_record_progression_100m_men.png.

[7] http://www.eia.doe.gov/ipm/demand.html.

Hay muchos indicios de que, en medio del mejor momento de la fiesta de la humanidad, los recursos empiezan a ser insuficientes. Las preguntas de qué recursos son insuficientes, cuán insuficientes son, qué modificaciones tendrá que sufrir la fiesta por estas insuficiencias, y muchas más relacionadas con esta noción de insuficiencia, son discutidas y debatidas apasionadamente en muy diversos foros. Inicialmente entre los expertos de las distintas disciplinas involucradas, pero reciente y crecientemente también en los medios de difusión y entre el público en general. Quienes participan en estas discusiones tienen intereses que defender, desde los obvios del empleado de una industria, hasta los puramente psicológicos del optimista que no puede asimilar malas noticias. Intentemos, pues, describir los hechos.

DOS LÍMITES CONSPICUOS: EL PICO DE HUBBERT Y EL CAMBIO CLIMÁTICO

El diablo nos escrituró los veneros de petróleo. Hasta donde entendemos, un delicadísimo balance de materia orgánica sedimentada, condiciones geológicas favorables y el sazón que proporciona el cocimiento a fuego lento a lo largo de millones de años, es lo que necesita el diablo para producir los yacimientos de petróleo. El clásico moderno de Deffeyes[8] detalla exquisitamente las circunstancias de esta cocción. A pesar de

esas particularísimas condiciones, los yacimientos de petróleo son numerosos y muchos de ellos contienen ingentes volúmenes de petróleo. La cantidad exacta que se ha descubierto no es fácil de determinar, porque aparte de las dificultades técnicas para saber cuánto petróleo hay en un yacimiento específico, interesa a los encargados ocultar la información exacta por motivos políticos y económicos, es decir, por motivos propios del negocio. Pero lo que sí podemos saber es que, por grandes que sean los descubrimientos, la cantidad existente es, obligatoriamente, finita. En 1956, M. King Hubbert analizó conjuntamente los datos de reservas probadas, reservas probables, tasa de producción y tasa de descubrimiento de nuevos yacimientos para la industria petrolera en Estados Unidos, y llegó a la conclusión de que la producción crecería hasta alcanzar un máximo, luego del cual disminuiría continuamente. Su análisis, cuantitativo, le permitió predecir la fecha del pico en la producción con casi 20 años de anticipación. En 1971, Estados Unidos registró la producción petrolera más grande de su historia; de entonces a la fecha, ha disminuido de forma constante —de casi 10 millones de barriles diarios en 1971 a poco más de cinco millones actualmente—,[9] a pesar de lo cual sigue colocado en el tercer lugar mundial de productores. Un análisis similar, pero aplicado a los datos disponibles para el mundo entero, predice el pico de la producción de petróleo —el pico de Hubbert— para 2008 con una incertidumbre de cinco años. Esta predicción ha sido disputada ferozmente, disputa a la que no le vamos a entrar por el momento porque sólo nos interesa constatar que el pico es un hecho. No importa si llegará en un año, en 10 o 20 o si ya llegó, sus consecuencias deben considerarse ahora.

---

[8] Kenneth S. Deffeyes, *Beyond Oil: The View from Hubbert's Peak,* Hill and Wang, 2005.

[9] US Energy Information Administration, http://tonto.eia.doe.gov/dnav/pet/hist/mcrfpus2a.htm.

Las consecuencias del pico de Hubbert mundial no son claras ni directas, y también son ferozmente disputadas. Pero caben aclaraciones. La llegada al pico no significa que a partir de ese momento se acabará el petróleo, sólo significa que no se podrá producir más y la disminución será progresiva. Actualmente se producen 84 millones de barriles de petróleo al día.[10] Cinco años después del pico de Hubbert, es probable que sigamos produciendo decenas de millones de barriles de petróleo al día.

Pero el progreso no conoce límites. Y el progreso está alimentado por el petróleo. Así que el crecimiento de la actividad humana y el pico de Hubbert vienen en direcciones distintas a gran velocidad, y lo suyo pinta para choque de trenes. Porque mientras la producción de petróleo llega al pico, la demanda aumenta. Para mantener la maquinaria del mundo moderno, para prolongar la vida del siglo de oro del animal humano, hace falta que se satisfaga la demanda de petróleo que ese mundo y ese siglo requieren. Y eso va a ser imposible tarde o temprano. Tan temprano como ya —hay quien afirma que el pico de Hubbert ocurrió en julio de 2006— o en el lejanísimo futuro de unos 10 años. Resulta cuando menos arriesgado imaginar con algún detalle las consecuencias del pico de Hubbert, pero eso no detiene a los futurólogos. Veremos algunas de sus especulaciones más adelante.

Ahora que para amacizar el efecto del pico de Hubbert en nuestras psiques sirve muy bien voltear a ver al otro fantasma que recorre el mundo: el cambio climático. El siglo de oro del animal humano es muy poco tiempo, en la escala geológica común, para detectar un cambio en las características generales del clima global terrestre. Éste está determinado por una muy numerosa cantidad de variables a las que responde de maneras increíblemente complejas. Tal complejidad fue famosamente ejemplificada con la noción de que el aletear de las alas de una mariposa en Borneo puede desencadenar un huracán en el Caribe.

A pesar de tal complejidad, hemos sido capaces de detectar ciertos patrones en el clima global del mundo. Así sabemos, por ejemplo, que en determinadas ocasiones, la temperatura disminuye en forma recurrente, hay gran condensación de agua en forma de hielo y se produce una glaciación. Y también hay periodos de calentamiento, algunos de ellos asociados con la actividad solar. La Tierra ha sido, en el pasado, mucho más caliente de lo que es ahora y también mucho más fría. El problema actual es que la actividad humana de los últimos 10 000 años, pero con más importancia la de los últimos 300 años —de la Revolución Industrial para acá—, y aún más la de los últimos 50 años —a partir de la masificación en el uso del motor de combustión interna—, ha establecido una serie de causas plausibles de un incremento en la temperatura global del planeta. Y, en los últimos años, hemos visto evidencia cada vez más clara de los efectos de esas causas.

---

[10] BP Statistical Review of World Energy, junio de 2007.

En resumen, no es ninguna novedad que el clima global de la Tierra cambie, lo novedoso es que el cambio actual es atribuible a las actividades humanas y que este cambio tiene consecuencias muy graves para la continuación de la fiesta del siglo de oro del animal humano.

El efecto de las actividades humanas sobre el clima mundial apunta en la dirección de un calentamiento global. La generación incontrolada de CO_2 —cerca de 30 000 millones de toneladas anuales—[11] concentra continuamente la presencia de esta sustancia en la atmósfera y, por tanto, aumenta su capacidad de absorber radiación infrarroja —que de otra manera saldría de la atmósfera— en lo que se conoce como el efecto invernadero. Así que sabemos, sin lugar a dudas, que nuestras actividades están produciendo grandes cantidades de CO_2, sabemos, sin lugar a dudas, que el CO_2 retiene energía en la atmósfera, y observamos, más allá de dudas razonables, que la temperatura global promedio de la Tierra ha aumentado a lo largo del último siglo. ¿Qué más necesitamos saber para actuar preventivamente y atenuar las consecuencias del posibilísimo calentamiento global?

Otro punto polémico es la magnitud del calentamiento y, de manera más importante y más controversial, los efectos que éste tenga. Se hila fino en el medio científico y las declaraciones que se pueden hacer son de este tipo: la cantidad de CO_2 en la atmósfera para el año 2100 estará entre 541 y 970 partes por millón; si se

---

[11] K. A. Baumert *et al.*, *Navigating the Numbers,* World Resources Institute, 2005.

acercara a 680, el incremento en la temperatura promedio andaría por ahí de 2.9°C con 95% de probabilidad de estar entre 1.5 y 4.5°C.[12] Y las especulaciones acerca de los efectos del calentamiento van desde esa que dice que pronto habrá mosquitos en la cima del Ajusco, pasando por la que predice temporadas de cosechas más extensas en las latitudes templadas, hasta la que asegura que el aumento en el nivel medio del mar —debido principalmente a la expansión térmica del agua y, en segundo lugar, a la fusión de los glaciares— habrá de modificar la geografía de la Tierra suprimiendo ciudades, regiones y países enteros: Venecia, buena parte de la Florida y Carolina del Norte, y Holanda.[13]

La singularidad de nuestro tiempo

Pocas cosas se saben con absoluta certeza, pero sabemos demasiadas cosas de manera aproximada. La aproximación que nos interesa es que los seres humanos tenemos la dotación genética actual desde hace bastante tiempo, entre 100 000 y 250 000 años.[14] O sea que han vivido en el mundo entre 3 000 y 7 000 generaciones de seres humanos, seres genéticamente iguales a los contemporáneos de este inicio de siglo. Quedémonos con la estimación más baja, que funciona para el siguiente argumento sin ser tan favorable como el extremo más alto. Piénsese ahora en alguna medida de la actividad humana, de preferencia una que podamos proyectar continuamente —cuando menos en la imaginación— hasta ese remoto pasado. El consumo de petróleo, por ejemplo, queda descartado porque sólo se generalizó hace unos 150 años. El consumo de alimentos, en cambio, podría ser una buena medida, excepto que es extremadamente difícil idear formas de medirlo en la antigüedad prehistórica. De hecho, cabe dudar de que tengamos forma confiable de conocer alguna medida de la actividad humana en ese extenso intervalo temporal. Sin embargo, existen valientes demógrafos que han acometido la empresa de estimar la población humana a lo largo de la existencia de nuestra especie.[15] Sus resultados —que se pueden cuestionar, pero que solicitamos al lector que suponga válidos por el momento— indican que la población humana en la tierra ha evolucionado como se representa en la gráfica I.1.

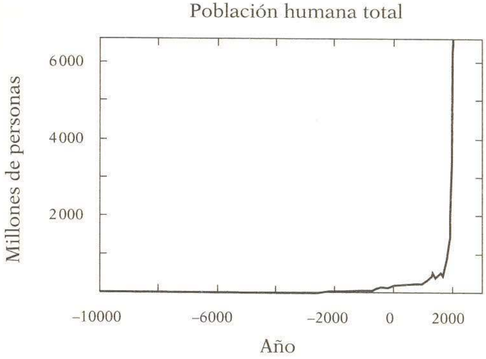
---

[12] J. D. Annan y J. C. Hargreaves, *Geophysical Research Letters* 33(6), L06704, 2006.

[13] Kurt M. Campbell, Jay Gulledge, J. R. McNeill, John Podesta, Peter Ogden, Leon Fuerth, R. James Woolsey, Alexander T. J. Lennon, Julianne Smith, Richard Weitz y Derek Mix, *The Age of Consequences: The Foreign Policy and National Security Implications of Global Climate Change,* Center for Strategic and International Studies, 2007, p. 84.

[14] Stephen J. Gould, *The Structure of Evolutionary Theory,* Belknap Press of Harvard University Press, Cambridge, 2002, p. 916.

Esta gráfica es extremadamente aburrida —y seguramente sería reprobada por Tufte—[16] porque muestra que no pasó nada interesante durante 100 000 años y que toda diferencia ha ocurrido en los últimos años. Podemos, entonces, ver con más detalle esos últimos años para destacar de qué tamaño es ese periodo reciente en el que han ocurrido las cosas importantes (gráfica I.2).



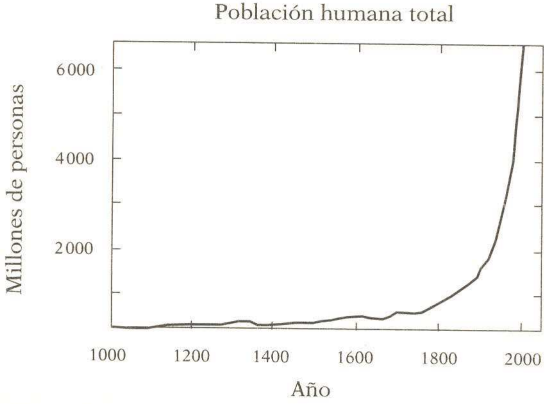
GRÁFICA I.1. *Cualquier medida de la actividad humana, desde la aparición de la especie humana hasta nuestros tiempos, se vería como se ve esta curva a través de la historia: poquita gente durante casi todo el tiempo, y un aumento gigantesco de la población en la actualidad más reciente.*

Como se ve, algo extraordinario empezó a ocurrir en los últimos 200 años aproximadamente. Ahora permítasenos especular un poco, y afirmar que cualquier medida de la actividad humana en la Tierra —ahora sí, el consumo de alimentos, o la huella humana en la modificación del suelo terrestre, o el consumo de energía, o el consumo de biomasa, o el consumo de agua dulce; medidas acerca de las cuales pudiéramos no tener datos confiables, por eso la especulación— sigue un patrón semejante al de la población humana en la Tierra: nada relevante durante la mayor parte de los

---

[15] Joel E. Cohen, *How Many People Can the Earth Support?*, Norton, Nueva York, 1995.

[16] Edward R. Tufte, *The Visual Display of Quantitative Information*, Graphics Press, Cheshire, 2001.



Gráfica i.2. *Si nos concentramos en los últimos 1000 años, puede verse que la población humana despega hace algo así como 200 años. ¿Qué pasó entonces que provocó este incremento en nuestros números?*

100000 años que nos interesan, y un súbito incremento en los últimos 200 años. Pero existe una medida que sí se puede conocer con extraordinaria precisión para el periodo de los últimos 100000 años y que —se puede argumentar convincentemente— está directamente relacionada con las actividades humanas: la concentración de dióxido de carbono en la atmósfera.[17]

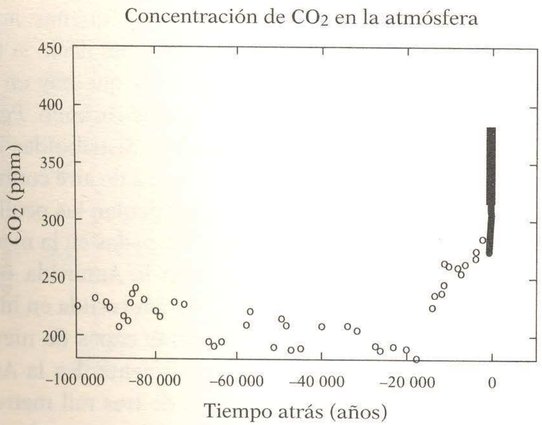
Como se sabe, el dióxido de carbono forma parte de la mezcla de gases —78% de nitrógeno y 21% de oxígeno en su mayor parte— que constituye la atmósfera, aunque en concentraciones muy pequeñas, apenas unos cientos de partes por millón. Es decir, si tomamos un millón de moléculas de las que hay en el aire, sólo unas 300 serán de dióxido de carbono. Pero esas moléculas están uniformemente distribuidas en la atmósfera, así que cualquier muestra de aire contiene esa concentración de CO_2, en particular, las pequeñas burbujas de aire que quedan atrapadas en la nieve que se deposita cada temporada en la Antártida —o en cualquier otro glaciar— y que es convertida en hielo, y cubierta año tras año por otras capas de nieve que se convierten en hielo sucesivamente. En la Antártida, una capa de hielo de más de tres mil metros de espesor contiene burbujas de aire que quedaron atrapadas hace más de 400000 años. En 1998, investigadores franceses y rusos extrajeron cuidadosamente una columna de tres kilómetros de hielo y la analizaron para medir la concentración de CO_2 como función del tiempo.

Sus hallazgos se muestran en la gráfica i.3 y corresponden a la conducta mencionada para todo lo que tiene que ver con la actividad humana: nada durante casi todo el tiempo y un súbito aumento reciente.

Otra manera de señalar la excepcionalidad de nuestros tiempos viene de considerar la estabilidad con la que los seres humanos vieron pasar la vida generación tras generación en la Antigüedad, y compararla con lo que queda de esa estabilidad en la actualidad. Durante la gran mayoría de esas tres mil generaciones, los hijos vivían en un mundo igual al de los padres, con entornos físicos y sociales idénticos: las actividades eran las mismas, las herramientas que se usaban para llevarlas

---

[17] Carbon Dioxide Information Analysis Center, Oak Ridge National Laboratory, http://cdiac.esd.ornl.gov/trends/co2.



GRÁFICA I.3. *Concentración de CO_2 en la atmósfera en los últimos 100 000 años. El valor osciló entre 200 y 250 ppm hasta la invención de la agricultura, cuando inició un lento ascenso. El ascenso de los últimos 200 años es casi vertical en esta escala.*

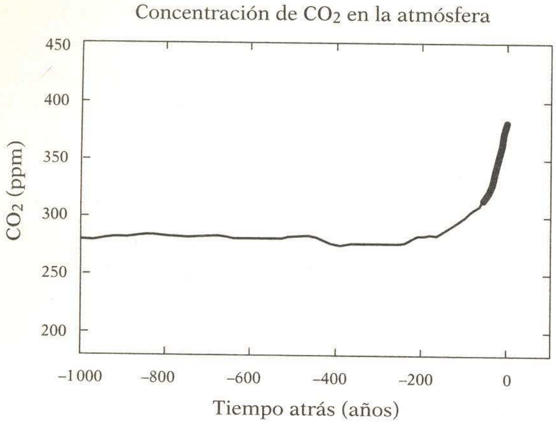
a cabo eran las mismas —a veces hasta era el mismo ejemplar de la herramienta el que se heredaba de generación a generación—, la organización familiar y social era la misma, el entorno natural era el mismo, etcétera. Desde luego, esa organización más bien estática acomodó cambios revolucionarios, como la incorporación de la agricultura, la invención de la escritura o el nacimiento del Estado. Pero tales revoluciones ocurrieron de manera relativamente lenta en la escala de la vida humana, a lo largo de varias generaciones, permitiendo la permanencia de una gran cantidad de usos y costumbres que proporcionaron estabilidad. Compárese esa situación con la que hemos presenciado en nuestras vidas contemporáneas durante las cuales, en el intervalo de unos pocos años, hemos modificado nuestras costumbres radicalmente, cambiado nuestras herramientas principales, en fin, vivido vidas inconmensurables con las de nuestros abuelos.*

¿Qué ha ocurrido en los últimos 200 años que ha provocado estos fenómenos? La explicación más popular viene de la economía, y lo atribuye todo a la Revolución Industrial, esa modificación de las formas de producción que incorporó el empleo de maquinaria —energizada por un combustible inanimado (carbón, gas, petróleo, uranio) a diferencia de la herramienta, energizada por ATP humanos y animales— y que inició una era del crecimiento económico sostenido. Y desde luego, ésa es la causa próxima del repentino aumento de la actividad humana que se ha mantenido hasta la fecha, incrementándose incesantemente (gráfica I.4). Pero la causa última de esta modificación es la incorporación a nuestras actividades, a través de la tecnología, de los resultados de la ciencia. La ciencia moderna, como se sabe, es un invento de apenas unos 300 años.**

---

* Ya nos acostumbramos a que haya mangos casi todo el año y no sólo durante dos meses en el verano. El pollo es barato. Incluimos frutos y carnes exóticos en nuestra dieta diaria —kiwis, cerezas, salmón—. La principal herramienta de una fracción considerable de los trabajadores, la computadora, no existía antes de 1986. Por otro lado, algunas de nuestras tradiciones sociales más antiguas tienen apenas 50 años.

** Se cita con frecuencia la publicación, en 1687, de los *Principios matemáticos de la filosofía natural* de Newton como el acto inaugural de la ciencia moderna. Pero si se le quiere dar ese honor



GRÁFICA I.4. *Concentración de CO_2 en la atmósfera en los últimos 1 000 años. El valor se mantuvo casi constante en 280 ppm hasta hace 200 años, cuando inició un ascenso que lo ha llevado hasta casi 400 ppm. Actualmente, arrojamos a la atmósfera 30 000 millones de toneladas al año; si lo seguimos haciendo, la concentración de CO_2 estará por encima de 700 ppm antes de finalizar el siglo.*

Desde luego hizo falta que los resultados de la ciencia tuvieran consecuencias prácticas en escala suficientemente grande para que la huella humana se hiciera notar en el mundo. Pero eso es inevitable cuando el crecimiento es sostenido. Inevitablemente, si cada año la actividad aumenta en proporción a la actividad actual, tarde o temprano rebasaremos cualquier medida que se establezca. Y eso es lo que ha pasado en los últimos 200 años, que la actividad humana aumenta y aumenta a tasas que han sido hasta de 10% —lo que garantiza su duplicación en tan sólo siete años—. Pero es aquí donde nuestros tiempos se vuelven singularmente interesantes. El aumento en la actividad humana está asociado con el aumento en el consumo de todo tipo de insumos, y ahora empezamos a enfrentarnos con que ya no puede aumentar, y, en algunos casos, sospechamos que ya no puede ni siquiera mantenerse en el nivel actual.

al *Dialogo sopra i due massimi sistemi del mondo,* de Galileo, sólo nos tenemos que ir 50 años para atrás, hasta 1632.

De manera un tanto sorprendente, en los tiempos actuales hay signos de que insumos tan independientes como el petróleo y el agua están llegando a su límite de disponibilidad casi simultáneamente. Lo mismo pasa con la cantidad de cosechas que se pueden producir. O la cantidad de electricidad. O la cantidad de oro, acero, silicio, platino, diamantes o talio. Nuestro orden social actual ha sido moldeado bajo la suposición —infundada— de que la actividad humana puede crecer indefinidamente. Pero es posible que estemos cerca de encontrar límites duros a nuestro crecimiento.

La ciencia y sus consecuencias han sido la clave de nuestro progreso. Hemos hecho todo lo que se nos ha ocurrido hacer con ella. Como adolescentes que descubren sus recientemente adquiridas fuerzas y habilidades, y que se dedican a patear una pelota lo más lejos posible nomás porque sí, hemos desarrollado, inventado, fabricado y vendido todo lo que hemos podido nada más porque sí. El resultado es maravilloso y es cierto que vivimos el siglo de oro del animal humano.

Sin duda, éste es el peor momento, en mitad de la mejor parte de la fiesta, para que nos vengan a decir que ya nos vayamos enfriando porque ya se va a acabar. Pero ese parece ser el caso. Las consecuencias de que se tenga que parar la música son difíciles de prever; lo único que parece seguro es que no van a ser agradables. Es probable que hayamos ya alterado tanto el mundo, que la posibilidad de un regreso controlado al equilibrio y a la sustentabilidad se nos haya ido de las manos. Aun así, la mejor arma que tenemos para controlar este fin de fiesta, esta terrible cruda, es la ciencia misma. El regreso a tiempos anteriores conocidos es imposible toda vez que el mundo ya no es el de hace unos cientos de años. El mundo del siglo XXII será radicalmente distinto a éste. Y será menos malo, si la vida incluye resultados de la ciencia y una tecnología de lo más sofisticada.

"ALGO SE LES OCURRIRÁ"

Si tuviéramos que escoger una sola causa para las modificaciones a la vida en la Tierra —y a la Tierra misma— de los últimos 200 años, tendríamos que escoger a la ciencia y la tecnología. Sin ellas, ninguna de las transformaciones globales de las que somos testigos sería posible. El efecto de esta causa es tan ubicuo y ha modificado tanto la vida que con razón le atribuimos todo tipo de poderes. Uno muy común es el resultado de hacer una inducción ingenua: si la ciencia, una y otra vez, ha encontrado la forma de progresar y superar sus anteriores logros, frente al problema actual, la ciencia volverá a encontrar la solución y, superando sus anteriores logros, nos sacará también de este brete.

Desde luego, la inducción ingenua no es un arma del arsenal de la lógica, pues requiere una forma de búsqueda exhaustiva de las posibilidades.* Ninguna cadena de éxitos científicos en la solución de problemas puede garantizar el éxito en el siguiente. Aunque tampoco podemos asegurar que el problema no vaya a ser resuelto. El problema está abierto y en cuanto a su solución lo más que podemos decir es que "como puede que sí, puede que no; lo más seguro es que quién sabe..."

No importa si la abundancia de energía habrá de durar cinco o 150 años, de todas formas, si queremos continuar estilos de vida que requieren de su uso intensivo, tendremos que encontrar fuentes alternativas de energía. Y confiamos en los científicos y en la ciencia para que "algo se les ocurra". Y ya estamos viendo cómo hacerle para que se nos ocurra algo. Recientemente pude escuchar la conferencia de un prominente científico cuya investigación sobre alternativas energéticas es financiada por el *Department of Energy* estadunidense. Luego de decir que, de mantenerse las tendencias actuales, necesitaremos en 2030 aumentar dramáticamente nuestra producción de energía —el equivalente a 200 millones de barriles de petróleo diarios—, nos informa de los esfuerzos que su grupo está haciendo para resolver el problema. Su idea es aprovechar el ejemplo natural de la clorofila y diseñar un sistema molecular que tome energía solar —después de todo, llega más energía solar en 15 minutos a la Tierra de la que consume la humanidad en un año— y la aproveche para hidrolizar el agua y producir hidrógeno. Como se sabe, ese hidrógeno lo podemos quemar, o usar en *celdas de combustible,* para producir energía. Y luego presenta su diseño molecular que, en efecto, sirve para producir hidrógeno. No en las cantidades necesarias —su catalizador se descompone luego de 80 vueltas de la reacción y no luego de las 1000 millones de vueltas que serían necesarias para que el proceso fuera útil—, pero eso ya se resolverá mediante más investigación. El problema grave es que su molécula contiene platino. Y la cantidad total de platino en el mundo es tan pequeña que apenas formaría un charco de 10 centímetros de profundidad en una alberca olímpica.*[18] Así que no hay suficiente para que la solución de este científico sea siquiera remotamente factible.

---

* Sabemos que la inducción matemática, en el caso de números enteros, funciona porque tenemos formas de estudiar el caso general, es decir, todos los casos, aunque no los estudiemos uno por uno.

Claro que ése no es el único esfuerzo en la búsqueda de alternativas. Existe un gran número de grupos de investigación que las buscan. Probablemente sumen un millar, si somos optimistas. Incluso es probable que alguno de ellos encuentre una solución viable —aunque no nuestro colega del ejemplo anterior—. Pero dejar el asunto en manos de este millar de científicos es como si decidiéramos gastarnos el dinero de la renta de este mes en un boleto de Melate. En realidad mucho peor, porque con el sorteo cuando menos sabemos que tarde o temprano *alguien* va a ganar el dinero, mientras que la fuente alternativa de energía quizá ni siquiera existe.

LA RESISTENCIA AL CAMBIO

Vaclav Smil lo dice fuerte y claro. Aunque tuviéramos hoy la tecnología de la energía alternativa, el cambio de la vieja a la nueva implicaría disrupciones inevitables en nuestra forma de vida. Claro que ya hemos visto cambiar nuestras formas de vida, y a gran velocidad. En el espacio de una generación. Pero, según Smil, incluso los cambios que toman sólo una generación no ocurren sino hasta cuando las condiciones necesarias están dadas. Si hoy contáramos con la tecnología necesaria para mantener nuestro consumo energético, ponerla en marcha tomaría decenas de años. Su argumento es inductivista: así ha ocurrido con la adopción de nuevas tecnologías en el pasado. Si acepto el argumento inductivista es porque no veo cambios en la dirección de la actividad económica: seguimos produciendo y vendiendo coches, refrigeradores, aparatos de aire acondicionado, carreteras, casas grandes y lejanas, etcétera.

Lo mejor que podría pasar, incluso si contásemos con una opción energética, es que, para adoptarla, cambiemos drásticamente, siquiera por un tiempo, nuestra forma de vida. O sea que, encontremos o no alternativas, nuestra forma de vida cambiará en el futuro próximo. Algunas voces están señalando de diversas maneras los límites físicos al crecimiento actual de la actividad humana. Sin embargo, éste todavía no es un tema presente en la acción de los políticos —ni siquiera en su discurso—; y cada vez que surge, se resuelve como si el problema fuese adaptar nuestra forma de vida actual a las nuevas circunstancias: apagar focos o ahorrar agua. Manejar menos o manejar autos más rendidores o eléctricos.

---

* La producción anual de platino ha promediado 140 toneladas métricas al año en los últimos 10 años, la época de la explosión exponencial en el consumo de este metal. Esto equivale a un espesor de cinco milímetros del charco en la alberca olímpica. El total histórico no es mayor que 20 veces esa cantidad.

[18] Para estadísticas de producción de platino, véase www.platinum.matthey.com.

Hasta ahora, en el discurso común no se plantea todavía la posibilidad de que la situación a la que estamos llegando nos obligue a considerar cambios que no son adaptativos —reformadores, diría un politólogo— sino disruptivos —revolucionarios, diría el mismo experto—: tendremos que abandonar la libertad de recorrer 100 kilómetros nomás porque sí, tendremos que abandonar el lujo de contar con energía eléctrica 24/7, o bañarnos cada vez que queramos o contar con un orden social estable la mayor parte del tiempo en la mayor parte de los lugares.

Un ejemplo de esta resistencia al cambio, en el ambiente mexicano, es el debate sobre la actividad petrolera.

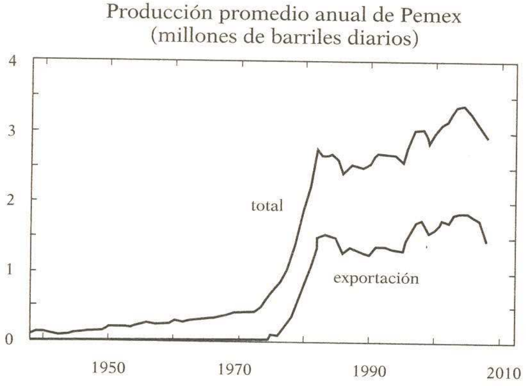
MÉXICO: NACIÓN PETROLERA

A principios del siglo XX, inmediatamente después del inicio del uso del petróleo como fuente de energía en Estados Unidos, y en buena parte debido a la proximidad de las zonas petroleras recién descubiertas en Oklahoma y Texas, en el norte de México —la cuenca del Golfo, los estados de Tamaulipas y Veracruz— se inició el desarrollo de nuestra industria petrolera. Desde luego, al igual que con todas las industrias del siglo XX, nosotros no contribuimos con el desarrollo de la tecnología necesaria para buscar, encontrar, extraer, almacenar, transportar y refinar el petróleo, y tuvimos que aceptar la oferta interesada de las compañías extranjeras —las cuales desarrollaron la tecnología original y se han mantenido en la frontera de ese desarrollo— que se establecieron en México. Desde luego, aquéllos eran otros tiempos y durante las primeras cuatro décadas de explotación petrolera en México, "sólo" se extrajeron unos dos mil millones de barriles, es decir, "sólo" 100 000 barriles diarios.[19] Para poner en perspectiva cuán diferentes eran aquellos tiempos, piénsese que en 2004, el año de mayor producción en la historia de Pemex, se extrajeron más de 1 200 millones de barriles. O dicho de otra manera, en poco más de año y medio de producción actual, se extrae la misma cantidad de petróleo que extrajeron las compañías petroleras extranjeras durante los casi 40 años —entre 1900 y 1938— en que operaron en México.

La historia de Pemex es compleja y seguramente está llena de sobrecogedoras anécdotas y espeluznantes secretos de Estado. Pero los tiempos cambian y la transparencia hace que sea posible consultar libremente documentos oficiales de Pemex que narran, con la

---

[19] Pemex, *Anuario Estadístico 1977*. Disponible en www.pemex.org.



Producción promedio anual de Pemex
(millones de barriles diarios)

Gráfica i.5. *La producción de crudo de Pemex a lo largo de su historia puede dividirse en cuatro etapas. La primera, de 1938 a 1973, caracterizada por un crecimiento moderado; la de crecimiento exponencial, entre 1973 y 1982; la de 1982 a 2004, de oscilaciones anuales pero con tendencia global creciente, y la que se inicia en 2005 con la disminución sostenida de la producción. La línea superior representa la producción total, la inferior, las exportaciones. Fuente: Anuarios estadísticos de Pemex.*

frialdad de los números, esa historia.[20] En la gráfica i.5 se muestra la producción histórica de crudo en México, desde la expropiación petrolera hasta la fecha.

En la historia de la producción de crudo en Pemex se pueden reconocer, de inmediato, cuatro etapas. En la primera —de 1938 a 1973— la producción creció a

---

[20] Pemex, www.pemex.org, *Anuario Estadístico 1977, Anuario Estadístico 1988, Anuario Estadístico 1990, Anuario Estadístico 1999, Anuario Estadístico 2007.*

un ritmo promedio de 4.5%, nunca rebasó el medio millón de barriles diarios y mantuvo a México como el productor de menos de 2% del petróleo mundial. La segunda presenta un crecimiento exponencial en la década de los setenta —de 1973 a 1982—, con una increíble tasa promedio de 22.3% que se tradujo en casi tres millones de barriles diarios —2.75 en 1982— y colocó a México como el productor de 4% del total en el mundo. Esta etapa coincide, si se quiere sospechosamente, con la crisis petrolera motivada por el embargo del mundo árabe de 1973. En la tercera —de 1982 hasta 2004— la producción se mantuvo alrededor de los tres millones de barriles diarios, con una ligera tendencia a la alza (un crecimiento promedio de sólo 1%) —aunque no se superó el nivel de producción de 1982 sino hasta 1996— que mantuvo a México como productor de 4% del petróleo mundial. Se puede distinguir una peculiaridad dentro de esta etapa, en el periodo de 2000 a 2004, durante la cual el incremento promedio de la producción anual fue de 3% y permitió que la producción diaria sobrepasara tres millones de barriles. En buena medida, este periodo está impulsado por la aplicación de la técnica de inyección de nitrógeno en el yacimiento de Cantarell, que ha permitido la extracción más rápida, pero ha motivado también una menor recuperación total. Finalmente, en la cuarta etapa —de 2005 a 2008—, y luego de la producción récord de 2004 de 3.4 millones de barriles diarios, se da una disminución a tasa promedio de ~3.4% anual, para cruzar de nuevo la línea de los tres millones de barriles diarios al final de 2007.

El petróleo es un recurso natural no renovable. Así que no hay ninguna duda de que, independientemente de la cantidad con la que el diablo nos haya dotado a los mexicanos, se nos va a acabar. La hipótesis del pico de Hubbert dice que la producción está en su límite superior —el pico— cuando todavía queda la mitad de la dotación original. La hipótesis es —como hemos tratado de señalar repetidamente— una que puede aplicarse o no a la situación actual mexicana. Es decir, es posible que la dotación del diablo sea mucho mayor del doble de la que hemos extraído hasta la fecha, y que buscando y buscando encontremos nuevos yacimientos.* Pero también es posible que no. Que el petróleo que nos quede sea menos que el que ya hemos quemado. El pensamiento optimista dice que seguramente hay más y que sólo es cosa de buscarlo. A la manera de Gramsci —"pesimismo de la inteligencia, optimismo de la voluntad"— propongo el pesimismo.

UNA IDEA PARA USAR NUESTRO PETRÓLEO

La situación mundial en cuanto al uso de energía —que en la mezcla actual está principalmente constituida por petróleo— resulta de la lucha de dos tendencias opuestas. Por un lado, la demanda es cada vez mayor; además, hay signos de que su crecimiento se va a acelerar.** Por otro lado, la oferta de energía —o al menos de petróleo— se reduce año con año. Ante esta situación, una de dos cosas *tiene* que ocurrir: o encontramos una nueva fuente de energía que permita aumentar la oferta, o modificamos la forma de vida de la humanidad —bueno, cuando menos del país— para adaptarnos a una vida con menos energía disponible.

El petróleo es una mezcla de sustancias muy interesante, porque no sólo tiene las improbables propiedades que lo hacen un combustible ideal: alta densidad de energía que permite que un peso relativamente pequeño de combustible nos transporte a grandes distancias,* temperatura operacional adecuada, manejo suficientemente seguro, muy favorable relación entre energía obtenida y energía empleada para producirlo, etcétera. No en balde nuestra afición por el liquidito. Sin embargo esas propiedades, tan convenientes a la hora de quemarlo, palidecen frente a las propiedades de la mezcla cuando lo usamos como materia prima en la producción química de otras sustancias: el petróleo es uno de los insumos más empleados en la industria. Dos de sus productos evidencian su importancia no energética: plásticos y fertilizantes.

El paradigma de pensamiento actual en México —de izquierda, de derecha o de cualquier color— para el uso del petróleo dicta que lo saquemos y lo vendamos a quien lo quiera comprar para que haga con él lo que quiera. Se añade que, dados los precios actuales del petróleo y ante la perspectiva de que sigan aumentando, vender este recurso natural es un buen negocio. Se sobreentiende que los recursos que obtenemos de esas ventas son instrumentales e indispensables para mantener la economía nacional en buen estado y han ayudado al desarrollo —con la equidad que se quiera admitir— del país.

---

* El famoso "tesorito" de los promocionales que Pemex difundía en México en 2008.

** El ejemplo de moda es la aparición en el mercado del Tata Nano, el automóvil hindú que cuesta 2 500 dólares y que se estima se venderá a decenas de millones de hindúes. Se sospecha que todos ellos querrán gasolina.

* El combustible que usa un auto representa menos de 5% del peso total del vehículo. Compárese con el combustible que usa un cohete cuyo peso es cerca de 95% del peso total del vehículo.

Sin discutir la lógica de este paradigma*[21] y, de nuevo, ante la inevitabilidad del cambio en nuestras costumbres energéticas, proponemos hacer el inevitable ajuste de una vez, en forma planeada y razonada, y dejar de extraer y vender petróleo. En un acto de verdadero nacionalismo, iniciar una política mexicana que anticipe el inevitable cambio y modifique el uso de la energía en nuestro país. Una política que —en una etapa de transición en la que el petróleo todavía se usa para generar energía— reserve el uso de nuestro petróleo a nuestro país, y que prevea el desfasamiento de ese uso y el gradual desplazamiento a usos más razonables. Una política que fomente el desarrollo de las tecnologías necesarias para tal transformación, desde las que permitirían la generación de energía proveniente de otras fuentes hasta las que abrirían la posibilidad de explorar y explotar yacimientos en aguas profundas.

Desde luego, ésta es una propuesta imposible. La pura resistencia al cambio impide que una sociedad con ciertos niveles de libertad acepte una modificación radical de su forma de vida sin estar forzada a hacerlo. En el pasado, diversas sociedades han modificado su forma de vida *a la fuerza*, por ejemplo, en situación de guerra. Pero nadie en la Inglaterra de 1942 hubiera aceptado el racionamiento, la conscripción, la movilidad limitada, el toque de queda, sin los bombardeos nazis. De ninguna manera los mexicanos —y para el caso, la humanidad— aceptaríamos limitaciones en nuestro uso del automóvil nada más porque las reservas de petróleo están disminuyendo. Antes, con la esperanza de que nada cambie, estamos dispuestos a creer en Santa Claus: en que hay un tesoro enterrado en las aguas profundas del Golfo y sólo hace falta modificar nuestras leyes para disfrutar de él.

De la misma manera es casi imposible encontrar la forma de canalizar el esfuerzo científico mexicano en la generación exitosa de propuestas tecnológicas con aplicaciones. El esfuerzo nacional de los últimos 30 años —digamos, desde la creación del Sistema Nacional de Investigadores del Conacyt— por profesionalizar la actividad científica en México, el cual prometía efectos en las actividades económicas del país, sólo ha tenido uno: ha generado un mercado de productos científicos que son ávidamente consumidos por la comunidad científica nacional y ávidamente proporcionados por empresas extranjeras, contribuyendo negativamente al balance económico de importaciones/exportaciones. La Universidad de Harvard reporta[22] que ha recibido un promedio de casi 24 millones de dólares por año por la licencia de sus patentes. ¿Qué se puede decir de lo que han recibido la UNAM, el Poli, el Cinvestav o el IMP por las suyas?

---

* Aunque se puede. Un estudio reciente indica que la renta petrolera tuvo su máximo en 1982 —cerca de 20% del GDP— pero que ha sido menor a 10% desde entonces.

[21] Rodolfo Sosa-García, *The Historical Oil Rent in the Mexican Economy 1938-2001*, 2002. Disponible en SSRN: http://ssrn.com/abstract= 938268.

[22] http://www.otd.harvard.edu/mediacenter/annuals/stats (consultado el 26 de marzo de 2008).

Pero, de todas maneras, podríamos especular con la ilusión de que un esfuerzo nacional sostenido de 10 o 20 años podría resultar en la generación de tecnología mexicana para extraer petróleo de aguas profundas, y lo ocuparíamos entonces para sintetizar productos, y no para quemarlo.

Ante la coyuntura del fin de la fiesta de la humanidad, cuyo más conspicuo presagio es la terminación de la época de la energía abundante y barata, México se encuentra, como siempre, en una situación intermedia. Por un lado, nuestro funcionamiento como país está sólidamente anclado en la modernidad de la economía globalizada, tal como ocurre con casi todos los demás países, pero con la peculiaridad de que el tamaño de nuestra economía la sitúa en el lugar undécimo o duodécimo mundial. Esta economía está basada, cada vez más, en las actividades propias de la modernidad, las cuales dependen profundamente de su misma infraestructura: la abundancia de energía barata. En los últimos años, la proporción de mexicanos que viven en condiciones urbanas ha seguido la tendencia mundial y ha aumentado hasta llegar a tres cuartos de la población.* [23] La población urbana se traslada a grandes distancias en medios de transporte —público o privado— impulsados por motores de combustión interna. Consume alimentos producidos por la agroindustria moderna —dependiente no sólo de los motores, sino también de fertilizantes derivados del petróleo— que son trasladados cientos de kilómetros desde su lugar de origen.* [24] Trabaja en ocupaciones que dependen de insumos y clientes que se encuentran en otro país, ocupaciones que rara vez son actividades productivas del sector primario de la economía, etcétera. De tal manera que la forma de vida de la población urbana depende del funcionamiento confiable de la modernidad. Ante una disrupción de ese funcionamiento, la población urbana deja de funcionar y es incapaz de satisfacer sus necesidades más inmediatas.

En contraste, la población rural está un poco más alejada de la modernidad y no depende tanto de su funcionamiento confiable. Su alimento no proviene, en su totalidad, de la oferta del supermercado y, si ésta se interrumpe, sabe encontrar opciones. Con una cuarta parte de población no urbana, tenemos más chances de encontrar mecanismos de continuación de la vida social civilizada ante una disrupción del orden social moderno, que con una sociedad sin población rural. En otras palabras, algunos entre nosotros todavía saben cómo cosechar alimentos. Algunos saben cómo sobrevivir sin motores, agua corriente, supermercados, electricidad, etcétera. La situación es más grave en algunas sociedades con mayor índice de desarrollo —como lo miden los economistas— que dependen más intensamente de la organización de la modernidad globalizada. En este sentido, un caso particularmente interesante, que dará mucho de que hablar en el futuro, es el del pueblo cubano, el cual, por razones conocidas —aunque de interpretación muy controversial— no ha participado durante los más recientes 50 años de esta fiesta del animal humano.

---

* El promedio de la proporción de la población que vive en condiciones urbanas —en oposición a condiciones rurales— para Latinoamérica alcanzó 77% en 2007.

[23] *Vital Signs 2007-2008: The Trends that Are Shaping Our Future*, The Worldwatch Institute, Worldwatch Books, W. W. Norton & Co., 2007, p. 52. Véase también esa.un.org/unup.

* Para llegar a una mesa gringa, un alimento fue trasladado entre 2 500 y 4 000 kilómetros.

[24] B. Halweil, *Home Grown: The Case for Local Food in a Global Market, Worldwatch Paper* 163, The Worldwatch Institute, 2002.

DESCUBRIR EL HILO NEGRO

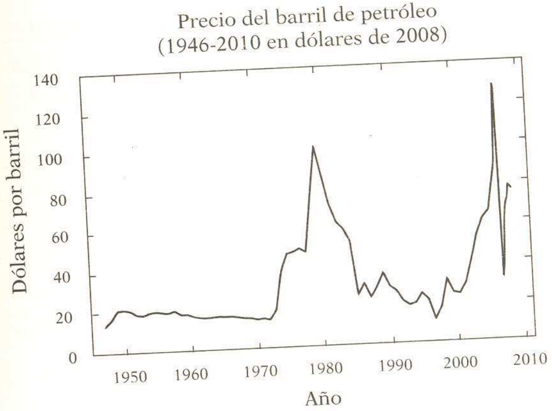
Un principio económico básico es que la especialización confiere una ventaja competitiva. Al dedicarse a una sola cosa, un participante en la cadena productiva encontrará incentivos y formas de optimizar la producción del bien en el que se especializa. La globalización ha permitido llevar a extremos inconcebibles este principio y, en la actualidad, mucho de la actividad económica obtiene ganancias marginales gracias a las pequeñas ventajas que le da la especialización. Este principio, aplicado a México, nos recomienda que no nos metamos en el lío de producir automóviles: ya hay empresas con alto grado de especialización en ese ramo y desperdiciaríamos esfuerzo, tiempo y capital en alcanzar la eficiencia que ellos ya tienen. Comprémosles a ellos y dediquémonos a otras empresas. De la misma forma, no tiene mucho sentido que establezcamos un programa aeroespacial en México; será más razonable contratar a la empresa líder cuando haga falta poner en órbita un satélite, con un costo mucho menor

de aquél en que hubiéramos incurrido al desarrollar el cohete en casa. Hasta aquí este principio económico y sus consecuencias.

El problema aparece cuando, después de revisar las empresas de la modernidad de las que necesitamos productos, encontramos que en todas ellas hay alguien que lo sabe hacer mejor que nosotros. ¿Coches? Japoneses, gringos y alemanes. ¿Medicinas? Europeos y gringos. ¿Bancos? Españoles. ¿Cohetes? Europeos, gringos y chinos. ¿Maquila de plástico? Chinos. ¿Películas? Gringos e hindúes. ¿Software? Gringos e hindúes. Y resulta entonces que no nos queda nada para especializarnos. En el comercio mundial, pagamos para traer a México todos los bienes de la modernidad y a cambio nos pagan para llevarse de México... vaya, ningún bien de la modernidad, sino, hasta ahora al menos, un bien que se fabricó en los últimos millones de años y que por pura casualidad quedó enterrado en nuestro terreno —o, permítasenos la insistencia, nos escrituró el diablo. Para estar a mano con el resto del mundo, tenemos que venderle tantas cosas como le compramos. Pero resulta que le compramos todos los bienes de la modernidad y le vendemos sólo petróleo— y mano de obra barata, localmente en las maquilas, y en sus propios países con la emigración y las remesas que esos emigrantes nos mandan. Así que necesitamos exportar todo el petróleo que podamos para acercarnos al equilibrio. Aunque ni así, y a cada rato tenemos que replantear nuestra línea de base económica con una devaluación.

La exploración y la explotación petroleras no son la excepción. Luego de muchos años de industria petrolera nacional, es posible que ya nos hayamos especializado en algunas de las labores de ésta y tengamos la tecnología local para llevarlas a cabo. Incluso, es probable que haya algunas instancias en las que hemos exportado esas habilidades. Pero, ante las tecnologías de las nuevas condiciones de exploración y explotación, las que requieren la perforación de pozos a 2 000 metros de profundidad de aguas marinas, más 2 000 metros de profundidad de arenas, más 2 000 metros de profundidad de sal, como en el recientemente descubierto yacimiento brasileño de Tupi, no poseemos la tecnología ni para empezar a plantear el proyecto. La solución que se plantea es que recurramos a los especialistas. Pero los especialistas quieren explotar su ventaja competitiva. Y ésa se explota en la actualidad, en el rumbo del petróleo, mediante el mecanismo de no vender el trabajo de exploración y explotación, sino asociarse con el dueño del yacimiento y garantizar que lo que se encuentre se comparta entre ambos. El esquema no es novedoso y hay muchas instancias en las que estamos acostumbrados a aceptarlo: muchas veces, cuando contratamos un abogado, su remuneración se pacta como una fracción de lo que se gane al terminar el juicio. Si no hay fallo favorable, ni el abogado ni el cliente ganan nada, pero si el fallo implica una indemnización, el abogado se llevará una parte. No obstante, en otros rumbos, el arreglo nos parecería abusivo: imaginemos que le encargamos a un arquitecto que construya nuestra casa; y éste nos propone quedarse con una de las habitaciones como pago de sus servicios.

Cada rumbo de la actividad económica tiene peculiaridades que no serían aceptables en otro rumbo. Independientemente de que ésa sea la moneda corriente en la industria petrolera, la situación plantea una oportunidad: desarrollemos nuestra especialidad en esta actividad. Hacerlo así tiene varias ventajas. Una de ellas es que el precio del petróleo, que nunca ha sido tan alto como ahora, va a seguir aumentando. Ante la inevitabilidad de la futura disminución de la producción y ante la necesidad de energía de la modernidad, el petróleo va a ser cada vez más valioso. La gráfica I.6 muestra la evolución del precio del petróleo, ajustado en dólares constantes, en las últimas décadas.* El pico de la



GRÁFICA I.6. *Precio, en dólares constantes, del petróleo. En algún momento de 2007 se alcanzó el máximo del siglo XX. A lo largo del siglo XXI el precio, si en verdad estamos en el pico de Hubbert y la actividad económica persiste, sólo puede aumentar.*

---

* El ajuste a dólares constantes no es una ciencia exacta y

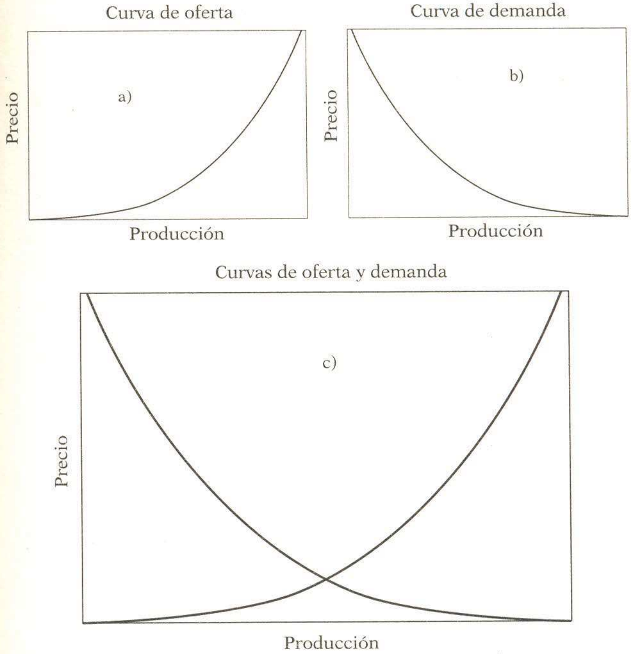
década de los ochenta se explica en términos de geopolítica —el embargo petrolero de los países árabes, la constitución de la OPEP—; el aumento actual tiene que ver con la oferta y la demanda. Así, si guardamos nuestro petróleo, por ejemplo hasta que lo podamos explotar con tecnología nacional, conservaremos un bien cada vez más valioso que podremos vender —o utilizar de mejor manera— entonces. Esperar a que nuestro producto valga más, ¿no es una estrategia elemental en los negocios?

EL PRECIO DEL PETRÓLEO Y LAS CURVAS DE OFERTA Y DEMANDA

La crisis económica que se desató a finales de 2008 y que maltrató la afirmación de que el precio del petróleo sólo puede subir, nos obliga a esta digresión. Los economistas han ideado las curvas de oferta y demanda para explicar los inesperados cambios en el precio de una mercancía. La idea básica es graficar el precio de la mercancía como función de la cantidad de ésta que se produce. Si los que la grafican son los que provocan la oferta —los petroleros que deciden cuánto producir— se obtiene una curva (gráfica I.7a) en la que el precio crece confome más se produce, ya que entre más se pague por el petróleo más van a producir los petroleros.

---

hay varias versiones de esta figura. Lo importante es que todas coinciden en que los precios reales del petróleo en la crisis de los ochenta y en 2008 son comparables y son los más altos de la historia.



GRÁFICA I.7. *Curvas de oferta y demanda. El precio se fija en donde se encuentran las dos curvas.*

Ahora que si los que grafican el precio como función de la cantidad que se produce son los que controlan la demanda, la gráfica es la opuesta, porque se dice que entre más cueste el petróleo menos consumidores van a pagar el alto precio (gráfica I.7b). De tal manera que al juntar las dos gráficas existe un punto de precio y producción en que las necesidades de petroleros y consumidores se juntan —ahí donde se crucen las dos curvas— y se establece el precio al que se venderá el petróleo (gráfica I.7c).

Ahora supongamos que la demanda de petróleo aumenta porque, por ejemplo, se ha empezado a vender el auto hindú Tata que necesita gasolina. La curva de los consumidores (gráfica I.7b) se desplaza hacia la derecha, porque hay tanta necesidad de petróleo que los consumidores admitiremos pagar más dinero con tal de conseguirlo: el nuevo equilibrio entre oferta y demanda se alcanza a un precio mayor. Por su parte, si el pico de Hubbert se acerca y es cada vez más difícil aumentar la producción de petróleo o de plano ésta disminuye, la curva de los petroleros se desplaza hacia la izquierda ya que cuesta más dinero producir la misma cantidad de petróleo: el nuevo equilibrio se establece a un precio todavía más alto. Ambas cosas —el aumento en la demanda y la disminución en la oferta— ocurrieron en el pasado reciente y, de acuerdo con esta interpretación, son las responsables de la multiplicación por un factor de cinco en el precio del petróleo en los últimos 10 años. Sólo una disminución de la demanda —que nos convenciéramos de usar menos los coches, la calefacción o los fertilizantes, por ejemplo— podría lograr una disminución del precio.

Venga la crisis. Sin que nos hayamos convencido, la crisis nos fuerza a usar menos coches, calefacción y fertilizantes. Por lo tanto el precio baja. Y podemos interpretar esta reducción como la demostración de que el pico de Hubbert es una ilusión de los pesimistas y que no hay de qué preocuparse. O podemos esperar a que haya una mayor disminución de la producción o una recuperación de la economía que permita el aumento de la demanda para ver que el precio del petróleo vuelva a subir. El precio del petróleo disminuyó estrepitosamente de su máximo histórico de más de 145 dólares por barril en julio de 2008 a su precio mínimo en cinco años de poco más de 32 dólares por barril en diciembre del mismo año debido, según esta hipótesis, a la disminución de la demanda —no al aumento en la producción—. ¿Qué causa su aumento actual —en dos años hasta 80 dólares—, la recuperación de la demanda o la disminución de la producción?

¿Y QUÉ HACEMOS SIN LOS HUEVOS?

Pero regresemos al petróleo mexicano. Uno de los chistes más famosos de Woody Allen es el que cuenta al final de *Annie Hall*. En referencia a su relación amorosa, recuerda el caso de un paciente en psicoanálisis que pide ayuda porque su hermano se cree gallina. El analista sugiere que abandone al hermano. El paciente pregunta "pero, ¿qué hago sin los huevos?" Nuestros políticos no se imaginan a México sin la renta petrolera. Y a muchos de nosotros nos cuesta trabajo imaginar cómo funcionaría el país sin ella. Y sobre todo en la actualidad, en que los precios del petróleo hacen que la cantidad de dinero que genera su exportación alcance máximos históricos. El cuadro I.1 muestra el ingreso diario por concepto de exportaciones de petróleo en los últimos 10 años.

Si ignoramos el efecto de la inflación, resulta que el número de huevos que nos consigue el petróleo ha aumentado casi 10 veces en 10 años: la tasa de crecimien-

CUADRO I.1. *Ingreso diario en México por exportaciones de petróleo (sin ajuste por inflación)*

Año	*Ingreso diario (millones de dólares)*
1998	17.7
1999	24.2
2000	40.8
2001	31.8
2002	35.9
2003	45.7
2004	58.1
2005	77.6
2006	95.1
2007	103.9
2008	114.5

to de la renta petrolera es de 23% promedio por año en ese periodo. ¡Con razón estamos preocupados! Nuestra situación de dependencia de la renta petrolera es casi siete veces peor que hace 10 años. No importa mucho que en esos 10 años nuestro ingreso haya aumentado por otros conceptos,* de todas maneras nos estamos habituando a contar con una monstruosa cantidad de dinero proveniente del petróleo.

Estamos acostumbrados a pensar que, históricamente, México ha dependido en gran medida de la renta petrolera y, más en general, que México ha sido históricamente un exportador importante de petróleo. La gráfica I.8 muestra la fracción de la producción de petróleo que exportamos y, junto con la información de la gráfica I.5, permite ver que el papel de México como exportador importante de petróleo se inicia recientemente, apenas en la década de los ochenta.

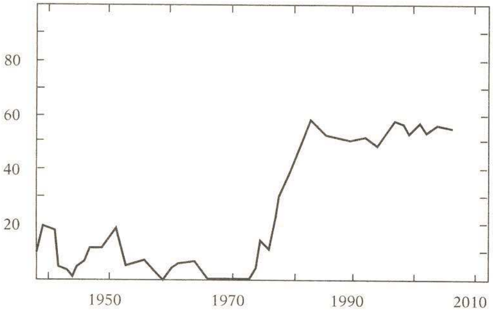
Otra idea que nos gusta creer es que el petróleo ha sido instrumental en el desarrollo social del país, y que la equidad a la que aspiramos sólo es posible a través del empleo de la renta petrolera. El regalo del diablo es lo que puede hacer que los mexicanos tengamos una sociedad más justa. A juzgar por los números anteriores, ese desarrollo se tendría que haber visto en los últimos 10 años y, de manera más notable que nunca antes, en los últimos dos o tres. Sin abundar en la evidencia económica que pudiera demostrar esto, quedémonos con la evidencia de que el índice de bienestar para México no ha aumentado 23% promedio anual durante los últimos 10 años.

Mantener el país que tenemos requiere la renta petrolera que tenemos actualmente. Requiere, de hecho, que la renta petrolera siga creciendo de la manera en que lo ha hecho en los últimos años. No hay otra manera de financiar, con la largueza que lo hemos hecho hasta ahora, las obras públicas, la existencia de nuestros partidos políticos, nuestra burocracia y sus corruptelas, los programas sociales, los subsidios a la energía eléctrica y la gasolina, los sindicatos consentidos, la educación superior, la investigación científica, etcétera. Suspen-

---

* Conforme informes de Pemex, las exportaciones totales mexicanas alcanzaron 87 000 millones de dólares en 2003, 101 000 millones en 2004, 117 000 millones en 2005, 138 000 millones en 2006 y ¡272 000 millones en 2007! Según Pemex, el brinco del último año se debe a que el Banco de México decidió incluir en ese dato oficial las exportaciones de las maquiladoras.

Exportaciones de Pemex como fracción de la producción total



Gráfica I.8. *México empezó a exportar importantes cantidades de su producción petrolera a finales de la década de los setenta, en que la fracción exportada del total de crudo superó 20%. Esta fracción se ha mantenido arriba de 49% desde 1982, con un promedio de 53.5 por ciento.*

der la exportación de grandes cantidades de petróleo —por la razón que sea— obligaría a una modificación sustancial de nuestra forma de vida hacia una más pobre. Lo fundamental es reconocer que tarde o temprano *vamos* a suspender la exportación y vamos a vernos obligados a cambiar nuestra forma de vida hacia una más pobre.

Porque tarde o temprano se van a agotar los yacimientos de petróleo mexicano —y los de todo el mundo—. Puede ser que se acaben los que estamos explotando actualmente* sin que encontremos la forma de iniciar la explotación de otros aún no descubiertos, por ejemplo, porque no nos pongamos de acuerdo políticamente en cómo contratar los servicios de las empresas que saben hacerlo. Puede ser que no haya tales yacimientos en aguas profundas. Puede ser que los haya y que nos duren otros 10 años. O puede ser que decidamos guardar ahí ese petróleo durante el tiempo que sea necesario hasta que lo podamos extraer con tecnología propia, en el momento en que sea más valioso —y se use mejor que en la pura combustión— y sin tener que hacer estas complicadas negociaciones políticas. ¿Cuál es el mejor curso para la acción?

---

* La producción de los principales yacimientos de México declinó 15% de 2004 a 2007.

¿HASTA DÓNDE ALCANZAMOS A VER?

Un autor estadunidense del siglo XIX enunció, famosamente, que un político piensa en la próxima elección mientras que un estadista piensa en la próxima generación. Además de la notable escasez de estadistas, el lío en el que estamos metidos en esta etapa del siglo de oro del animal humano nos obligaría a pensar aun más allá de una generación. Pero los estadistas son escasos porque los seres humanos somos incapaces de pensar en el futuro lejano. Quizás algunos, realmente imbuidos de fervor religioso, convencidos de que trascenderán el cuerpo mortal y seguros de su continuidad en el paraíso eterno, hayan alguna vez actuado de manera que terminaron influyendo en el futuro lejano. Unos monjes en la Inglaterra medieval previeron la necesidad futura de reparar el techo de su edificio, sostenido por el tronco de un árbol centenario, y se cuidaron de plantar a tiempo el árbol que habría de ser cortado 500 años después. Pero para el resto de nosotros, el mundo es el que nos toca vivir y nada más. Si acaso, y vagamente, el que les toque a nuestros hijos. No es extraño, entonces, que no estemos haciendo nada para atenuar el efecto que este fin de fiesta ha de tener en la forma en que vivimos. Después de todo, no importa lo que digamos los apocalípticos —como, con mucha efectividad, nos dicen nuestros detractores—; la vida, hoy, todavía es muy buena. La fiesta sigue y ya veremos.

A sabiendas de que es un ejercicio estéril, de todas maneras podemos pensar alternativas.

El mundo va a seguir siendo esencialmente como es mientras se pueda. Estaremos dispuestos a pagar energía a precios 10 o 100 veces mayores si el aumento es gradual. Ajustaremos nuestros hábitos a lo que haya disponible. Si deja de haber mangos en invierno, comeremos mandarinas. Y si no hay ninguna de las dos, pues comeremos lo que haya. No vamos a dejar de manejar automóviles nada más porque no va a haber petróleo en el futuro. Nos vamos a acabar lo que hay, y cuando ya no haya veremos qué podemos hacer. Así que las alternativas que tenemos tienen que situarse en el mundo como es ahora. Cuando hablamos de reducir las emisiones de CO_2, los planes que se proponen conservan el uso del coche, del aire acondicionado, de los elevadores. Cuando hablamos de conservar energía, proponemos apagar uno de los 10 focos que tenemos encendidos, o modificar en un grado centígrado la zona de confort de nuestra calefacción o aire acondicionado, o disminuir el uso del coche.

Preparémonos, entonces, dentro de la forma actual del mundo, de la mejor manera que podamos para enfrentar los efectos de nuestro éxito. Contribuyamos a desarrollar las soluciones que pudieran conservar a la humanidad civilizada en un mundo que ha sufrido los efectos del siglo de oro de la humanidad. Anticipémonos a un mundo sin petróleo, con 700 partes por millón de CO_2 en la atmósfera, sin la abundancia de agua que hemos disfrutado en este siglo, con un clima más hostil, etcétera.

de plantar a tiempo el árbol que habría de ser cortado 500 años después. Pero para el resto de nosotros, el mundo es el que nos toca vivir y nada más. Si acaso, y vagamente, el que les toque a nuestros hijos. No es extraño, entonces, que no estemos haciendo nada para atenuar el efecto que este fin de fiesta ha de tener en la forma en que vivimos. Después de todo, no importa lo que digamos los apocalípticos —como, con mucha efectividad, nos dicen nuestros detractores—; la vida, hoy, todavía es muy buena. La fiesta sigue y ya veremos.

A sabiendas de que es un ejercicio estéril, de todas maneras podemos pensar alternativas.

El mundo va a seguir siendo esencialmente como es mientras se pueda. Estaremos dispuestos a pagar energía a precios 10 o 100 veces mayores si el aumento es gradual. Ajustaremos nuestros hábitos a lo que haya disponible. Si deja de haber mangos en invierno, comeremos mandarinas. Y si no hay ninguna de las dos, pues comeremos lo que haya. No vamos a dejar de manejar automóviles nada más porque no va a haber petróleo en el futuro. Nos vamos a acabar lo que hay, y cuando ya no haya veremos qué podemos hacer. Así que las alternativas que tenemos tienen que situarse en el mundo como es ahora. Cuando hablamos de reducir las emisiones de CO_2, los planes que se proponen conservan el uso del coche, del aire acondicionado, de los elevadores. Cuando hablamos de conservar energía, proponemos apagar uno de los 10 focos que tenemos encendidos, o modificar en un grado centígrado la zona de confort de nuestra calefacción o aire acondicionado, o disminuir el uso del coche.

Preparémonos, entonces, dentro de la forma actual

del mundo, de la mejor manera que podamos para enfrentar los efectos de nuestro éxito. Contribuyamos a desarrollar las soluciones que pudieran conservar a la humanidad civilizada en un mundo que ha sufrido los efectos del siglo de oro de la humanidad. Anticipémonos a un mundo sin petróleo, con 700 partes por millón de CO_2 en la atmósfera, sin la abundancia de agua que hemos disfrutado en este siglo, con un clima más hostil, etcétera.

II. EL SIGLO DE ORO DEL ANIMAL HUMANO*

La investigación científica progresa infinitesimalmente *paper a paper.* De vez en cuando, sin embargo, tenemos suficientes avances como para presentar un salto de tamaño considerable y alguien escribe un libro. La investigación que respalda las afirmaciones de Fogel en *El escape del hambre y la muerte prematura*[1] es laboriosa, detallada, realizada por decenas de investigadores y reportada en multitud de *papers*. Su conclusión principal: la "revolución tecnofisiológica", iniciada hace 300 años, le ha permitido a los seres humanos aumentar su tamaño corporal en 50% y su longevidad promedio en más de 100%, en el periodo de 1800 a la fecha; así como mejorar notablemente el vigor y la capacidad de sus sistemas orgánicos vitales.

No en balde está tan extendida la idea de que el progreso de la humanidad es innegable: nunca hemos sido tantos, nunca hemos vivido tanto, nunca nuestra calidad de vida ha sido tan alta. Independientemente de las inequidades que existen y que, en ciertos sentidos, se han agravado en ese mismo periodo, globalmente la especie humana ha vivido un siglo de oro. Es posible, que sea *el* siglo de oro de la humanidad, considerando todas las amenazas que se ciernen sobre nosotros al iniciar el siglo XXI. Pero disfrutemos con la enumeración de los éxitos del momento que hace este libro.

La investigación necesaria para llegar a estas conclusiones busca aportar evidencia de dos tipos: datos demográficos estándar como estatura, peso e índices de mortalidad por un lado, y datos demográficos específicos como el consumo cotidiano de calorías. Los datos del primer tipo se obtienen de registros militares —estaturas y pesos de los soldados en el momento de enrolarse en el ejército—, religiosos —registros de bautismos y defunciones— y civiles —registros de inmigrantes—. Los datos del segundo tipo se obtienen de estimaciones de disponibilidad de alimento basados en la producción agrícola de un país que sirven para integrar los "Balances Nacionales de Alimentos" y los "diarios de consumo de comida", en los que se registra el consumo de una persona o una unidad familiar en un periodo determinado. Una herramienta indispensable para analizar estos datos es el conocimiento de la *energética* de la comida y el metabolismo, es decir, cuál es el contenido energético de cada uno de los distintos alimentos y cuál es el gasto energético necesario para la realización de las distintas actividades humanas. Toda esta información está disponible apenas en las últimas décadas y, por eso, estas conclusiones son novedosas.

La evidencia es abundante. Una de las maneras más económicas de presentarla es mediante un complicado diagrama, que procederemos a explicar. El diagrama es una gráfica cartesiana (gráfica II.1) de valores de estatura —eje vertical— contra peso —eje horizontal—; en ese plano se muestran dos cantidades adicionales. Primero necesitamos definir una manera de medir la complexión de un ser humano tomando en cuenta su estatura y su peso. Tal medida se conoce como *índice de masa corporal* (IMC) y se define como la relación entre el peso expresado en kilogramos y el cuadrado de la altura expresada en metros cuadrados. (Su seguro servidor tiene un IMC de $80/(1.76)^2=25.8$, por ejemplo.) En el diagrama que presentaremos los IMC van entre 16 y 34; 16 en el extremo izquierdo de la gráfica y 34 en el extremo derecho, son las líneas casi rectas, punteadas, diagonales, que suben de la zona inferior izquierda a la superior derecha. Nótese que esas líneas son *definiciones*, independientes de datos empíricos específicos.

---

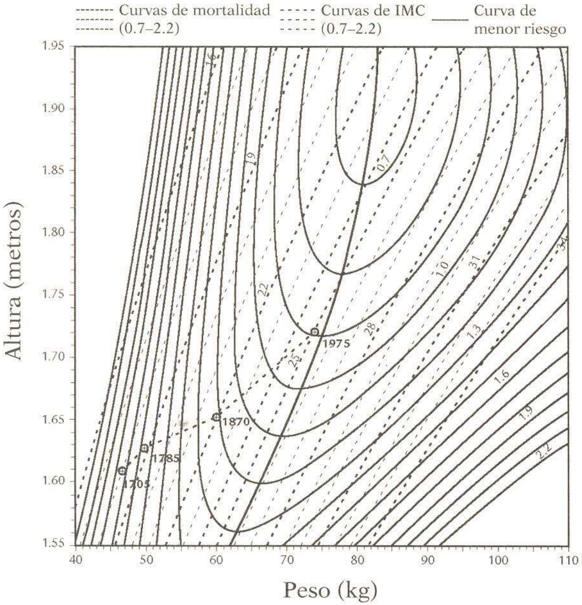
* Publicado en una versión anterior como "Mientras más grandes, más fuertes y más creativas", en *Debate feminista,* año 16, vol. 32, octubre de 2005, pp. 316-321.

[1] R. W. Fogel, *The Escape from Hunger and Premature Death, 1700-2100: Europe, America, and the Third World,* Cambridge University Press, Nueva York, 2004.

Después está el riesgo de mortalidad relativa. Esta definición es un poco más complicada. Empecemos definiendo el riesgo de mortalidad. Tomemos una población de cierta edad y contemos el número de decesos en ese grupo en un periodo dado. Dividamos ese número entre el total de la población: éste es el riesgo de mortalidad. Ahora tomemos a los miembros del grupo que tienen cierta altura. Y calculemos el riesgo de mortalidad para ellos —es decir, veamos cuántos de ellos mueren en ese mismo periodo— y dividamos ese número entre la totalidad de ellos. Tenemos entonces el riesgo de mortalidad de los de esa edad y el riesgo de mortalidad de los de esa misma edad y una estatura determinada. Ahora dividamos el segundo número entre el primero. Un resultado de uno, nos dice que los

de esa altura tienen el mismo riesgo de morir que la población general independientemente de la altura. Pero un valor de 0.7 nos dice que los de esa altura tienen un menor riesgo de morir que la población en general; correspondientemente, un valor de 2.0 nos dice que los de esa altura tienen un riesgo de morir dos veces mayor que el de la población en general. Las curvas de riesgo de mortalidad relativo aparecen en el diagrama como especies de elipses truncadas —líneas continuas— con valores que van de 0.7 a 2.2. Nótese que para construir estas curvas se necesitan datos empíricos específicos, en este caso, corresponden a la población varonil noruega con edades de 50 a 64 años.

Como uno puede controlar más o menos su peso, pero es más difícil controlar la estatura, conviene empezar a interpretar el diagrama considerando una estatura dada. Fijémonos en la que corresponde a 1.75 metros. Una persona de esa estatura y 50 kilos de peso, con IMC cercano a 16, tiene riesgo de mortalidad relativa de dos. Otra persona de esa estatura pero peso de 70 kilos, con IMC cercano a 23, tiene riesgo de mortalidad relativa cercano a 0.9. Una tercera persona de esa estatura y 90 kilos de peso, con IMC de 29, tiene riesgo de mortalidad relativa de poco menos de uno; finalmente una persona de 110 kilos de peso, IMC de 36, tiene riesgo de casi 1.5. El menor riesgo de mortalidad para una persona de esa estatura se da por ahí de 77 kilos y es de 0.85. La línea continua y ancha señala la localización de los pesos óptimos para las diferentes alturas. Nótese cómo ésta va desde IMC de 22, para personas de 1.94 metros, hasta IMC de 26 para personas de 1.55 metros. Este diagrama muestra que el riesgo de mortali-



GRÁFICA II.1. *Curvas de mortalidad, elipses, en el plano de la altura y el peso. Las líneas punteadas representan valores constantes de índice de masa corporal. La línea gruesa, la curva de menor riesgo.*

dad es mayor para las personas bajas que para las personas altas. Y que es mayor para personas muy delgadas que para personas más robustas —aunque aumenta de nuevo para personas extremadamente pesadas—.

Finalmente podemos localizar la evidencia del progreso de la población en los últimos 300 años. En el diagrama están señaladas estimaciones del promedio de

la población —la francesa— en cuatro fechas distintas. Es notable cómo esa sucesión de puntos se aproxima a la línea óptima en la dirección de mayor altura y mayor peso. La evidencia es abundante, y hay muchos más ejemplos en el libro de Fogel. Todos apuntan en la misma dirección: los últimos 300 años han visto un incremento en el IMC de todas las poblaciones, con la consiguiente reducción del riesgo de muerte, es decir, mayor longevidad.

Pero la mayor disponibilidad de alimentos que han causado los incrementos anteriores, también ha tenido un efecto económico importante. En palabras de Fogel:

> Como la primera ley de la termodinámica se aplica lo mismo a los organismos humanos que a los motores mecánicos, es posible hacer un balance de energía para estimar el aumento, en los dos siglos anteriores, en la energía disponible para realizar trabajo. En el caso británico este factor termodinámico es responsable del 30% de la tasa de crecimiento del país desde 1790. El aumento en la cantidad de energía disponible para realizar trabajo —la *energía libre,* diría un termodinámico [nota del A.]— tiene dos efectos. Aumentó la tasa de participación de la fuerza de trabajo al incorporar a ésta el 20% más bajo de las unidades de consumo —el quintil inferior en términos de alimentos consumidos [nota del A.]— del año 1790, quienes tenían, en promedio, la energía suficiente para tan sólo caminar lentamente unas pocas horas al día. Adicionalmente para aquéllos, ya en la fuerza de trabajo, significó un aumento en la intensidad del trabajo por

hora ya que las calorías disponibles para trabajar aumentaron en un 50 por ciento.

La idea de que la mejor alimentación implica mayor productividad porque la gente tiene más energía disponible, puede parecer parte del pensamiento económico más crudo, pero su contraparte es aún más interesante: implica que hace 200 años la alimentación estaba tan cerca del borde de la subsistencia que no había mucho excedente para algo más que respirar. Adicionalmente el efecto es sinérgico, ya que el mayor tiempo dedicado al trabajo genera mayor productividad que resulta en mejores condiciones de vida —mejor abrigo, mejor salubridad, mejor alimentación— que, a su vez, producen mejor salud y organismos humanos más eficientes.

Dice Borges en algún lado que la modernidad ha traído riqueza como nunca pero también pobreza como nunca, "la pobreza era más digna", o algo así. Aunque hay datos, al menos para el primer mundo, que sugieren lo contrario durante un periodo que termina en 1973. El *cociente de Gini* es la medida de la desigualdad en la distribución del ingreso que más usan los economistas. Está definida de tal manera que un valor de 0 significa igualdad perfecta y un valor de 1, desigualdad máxima. Para Inglaterra existe la serie de datos para calcular el cociente de Gini más extendida y continua. El valor de este indicador al principio del siglo XVIII es de 0.65, al principio del XX de 0.55 y en su mínimo histórico, 1973, de 0.32. El mínimo ocurrió en la misma fecha también para otros países desarrollados. El de

México en 1992 era de 0.50, el de Brasil en 1995, 0.60. Ningún país tiene un cociente de Gini mayor al de Inglaterra a principios del siglo XVIII.[2]

¿Qué significa esto? Creo que con certeza podemos afirmar que la revolución científica e industrial de los últimos 300 años ha tenido efectos positivos medibles en la situación de la especie humana. No sólo podemos presumir de cuán numerosos somos y de cuán bien alimentados estamos —medidas, después de todo, puramente biológicas— sino también de lo que hemos logrado en esos 300 años en términos de creación intelectual y artística —medidas exclusivamente humanas—. Ésas son las buenas noticias. Disfrutémoslas un ratito, porque las malas están a la vuelta de la esquina. Confiarnos en esta tendencia recuerda el comentario que hacen en la película francesa *El odio,* que se refiere a la persona que va cayendo de un décimo piso en el momento que pasa por el tercero: "hasta aquí todo va bien". Nuestro crecimiento es insostenible, y se tendrá que detener. Esto no está en duda, si acaso se podrá discutir cuándo ocurrirá la detención. Y cómo.

---

[2] Véase http://www.worldbank.org/data/pdfs/tab2_8.pdf.

III. ¿QUÉ TANTOS SOMOS TANTITOS?*

> No quiero sonar melodramático; sin embargo, a partir de la información de que dispongo como Secretario General sólo puedo concluir que los países miembros de las Naciones Unidas disponen de un máximo quizá de 10 años para olvidar sus conflictos ancestrales y asociarse en un esfuerzo global por terminar con la carrera armamentista, para mejorar el medio ambiente, para detener la explosión poblacional y para proporcionar el momentum requerido para el desarrollo. Si esa alianza global no se realiza dentro de la próxima década, mucho me temo que los problemas que he mencionado alcanzarán tales proporciones que estarán más allá de nuestra capacidad de control.
>
> U THANT (1969)

A MENUDO los seres humanos exhibimos cierta afición por el papel de Casandra. Como si nos atrajera el hecho de estar vivos y así ser testigos de las grandes tragedias que, según esta visión, nos esperan. Pero también a menudo exhibimos la voluntad de cerrar los ojos ante signos claros de que nos amenazan catástrofes. Parecería que, en 1969, U Thant, en su rol de Casandra, se equivocó al conceder sólo 10 años para la acción mundial. Es posible, sin embargo, que estemos cerrando los ojos frente a catástrofes, quizá irreversibles, que ya se iniciaron. Consideremos el problema de la población máxima posible de la Tierra.

- La población máxima que puede vivir en la Tierra de manera sostenible, a niveles de vida semejantes a los que existían en 1970 en los Estados Unidos, con la producción de ese año, es de 1 000 millones de personas. Por cierto, sería difícil producir los bienes (alimentos, productos y servicios) que se producían entonces con una población menor (la población en 1970 era mayor a 1 000 millones de personas); de tal manera que esta estimación pudiera ser exageradamente grande para lograr el autoabastecimiento (Hulett, 1970; citado en Cohen, p. 410).
- Si toda la sociedad concentrara sus esfuerzos en mejorar la producción agrícola y su distribución, se podría aumentar notablemente la producción de alimentos en la Tierra; aunque sólo de manera temporal. Es poco factible que se puedan producir alimentos suficientes para mantener 10 000 millones de personas en la Tierra por tiempo indefinido. Alcanzar niveles aceptables de vida para toda la población limita su número máximo por debajo del presente (5 500 millones). Cuál sea ese número depende de las consecuencias que produzca

---

* Publicado en una versión anterior como "¿Cuántos seres humanos caben en la Tierra?", en *Debate feminista,* año 9, vol. 17, octubre de 1998, pp. 333-351.

la actual sobrepoblación (Ehrlich, 1993; citado en Cohen, p. 417).

- Hágase una estimación de la superficie total cultivable de la Tierra. Supóngase que el rendimiento presente de los cultivos en Iowa puede tomarse como referencia para todas estas tierras; supóngase también que en las tierras de baja calidad o de topografía desfavorable el rendimiento será de la mitad del rendimiento óptimo. Finalmente, supóngase que la dieta de cada ser humano fuera de 2 500 calorías diarias. Se concluye que pueden vivir en la Tierra 40 000 millones de personas (Revelle, 1976; citado en Cohen, p. 412).
- Bajo las suposiciones de que podemos albergar dos tercios de la población en ciudades flotantes en el mar, que podemos construir ciudades tridimensionales encapsuladas (de unos 100 pisos), que los alimentos se pueden producir microbiológicamente a partir de materiales inorgánicos y que no hay otro límite al consumo de energía sino la necesidad de que la Tierra no aumente su temperatura con la radiación generada, se concluye que podemos coexistir unos 1 000 millones de seres humanos en la Tierra (Marchetti, 1978; citado en Cohen, p. 413).

¿Cuánta gente debe haber en el mundo? ¿Cuánta gente *puede* haber en el mundo? ¿Qué población debe tener cada país? ¿Qué población cada continente? ¿Qué podemos decir honestamente al respecto?

Estas preguntas son relevantes, pertinentes y, en nuestros días, incluso apremiantes. Lamentablemente, las respuestas a estas preguntas no son directas; cada respuesta está calificada por un sinfín de consideraciones: la filiación política y religiosa de quien responde, su postura ante el progreso, su íntima convicción que lo inclina hacia el optimismo o el pesimismo, hacia el realismo o la ingenuidad. Sin embargo, podemos aspirar a que haya algunas cosas que sea posible afirmar sin temor a equivocarnos. Algunas verdades tan generales y tan extremas que tengan que ser consideradas por todos los participantes en la discusión. De hecho, el pensamiento científico a menudo realiza el ejercicio de establecer los límites extremos de una respuesta con la esperanza de que ese intervalo contenga la respuesta correcta.

Realicemos un ejercicio de este estilo mediante una serie de suposiciones plausibles (aunque *muy* improbables). Sabemos que el planeta es finito. Supongamos que es cerrado, es decir, que la materia con la que contamos es la que ya está en el planeta y que no podemos "importar" más (quien, optimista o inocentemente, crea que los viajes interplanetarios y extragalácticos son posibles, considerará inválido todo lo que sigue). Podemos entonces estimar cuánto carbono existe en el planeta. Como también podemos hacer una estimación acerca de cuánto carbono constituye la materia corporal en un ser humano adulto, podemos estimar cuántos seres humanos podrían existir si todo el carbono del planeta estuviera en sus cuerpos (dejando conscientemente de lado el problema de qué alimentaría a estos seres humanos). El resultado de este cálculo extremo es algo así como 10^{20} seres humanos. Quizá podamos imaginar este número si pensamos que equivale a multiplicar a cada ser humano vivo actualmente por tantos seres humanos como los que pueblan el planeta: cada uno de nosotros con 10 000 millones de descendientes. Esta cuenta es desde luego absurda: no hay ninguna posibilidad de que el límite de la cantidad de carbono en la Tierra se vuelva relevante; pero ejemplifica un principio científico importante al ofrecernos una cota superior para la población de la Tierra. Podemos afirmar categóricamente que es imposible que haya más de 10^{20} seres humanos en la Tierra. Pero este ejercicio además nos sugiere una estrategia. Quizá podamos emplear esta estrategia, buscando otros límites, otras restricciones, para estimar el número máximo de seres humanos que puede haber en la Tierra.

Un experimento clásico de la bioquímica propone el siguiente escenario. Supongamos que tenemos una colonia de bacterias a la que alimentamos cada día con una cantidad fija de alimento. Arreglamos las cosas de tal manera que el espacio en el que puede crecer esta colonia sea ilimitado, y la única cota posible a su crecimiento, la cantidad de alimento. Observaremos que el número de miembros de la colonia crece inicialmente de manera exponencial. En la situación inicial, cuando el alimento es abundante, todo miembro de la colonia tiene a su disposición inmediata todo el alimento que puede consumir, y se puede dedicar, por así decirlo, a "facer holganza con macho placentero". El resultado de esto, lógicamente, es un aumento en el número de los miembros de esa colonia, en el número de individuos dispuestos a la holganza y en el número de nacimientos, así como una mayor tasa de aumento poblacional. Sin embargo, tarde o temprano, la cantidad de alimento disponible será insuficiente para mantener esta situación de abundancia —recuérdese que una característica del experimento es que la cantidad de alimento diaria es fija— y las actividades de las bacterias habrán de diversificarse. Ahora tendrán que buscar activamente el alimento. Esto limitará las horas dedicadas a la holganza y disminuirá el número de nacimientos por miembro de la especie, aunque el número de nacimientos totales seguirá creciendo, dado el mayor número de miembros de la especie. Posteriormente esta ocupación —la búsqueda de alimento en condiciones de escasez— será la principal. Sólo ocasionalmente, aquellos individuos afortunados que encontraron alimento suficiente podrán reproducirse y la población total llegará a un máximo: pocos nacimientos por individuo en un mundo con muchos individuos. Esta situación es *sostenible,* ya que cada vez que la población disminuye —en nuestro experimento, por ejemplo, mediante el retiro de una parte de la colonia—, aumenta el alimento por individuo y con ello la fertilidad; la población crece de nuevo hasta que se vuelve a alcanzar el tope. En este experimento cabalmente científico (las variables son pocas y se controlan con precisión, los sujetos del experimento no tienen libre albedrío) la definición de la *capacidad poblacional máxima* es unívoca e inambigua: el número máximo de individuos que pueden existir bajo las condiciones del experimento.

Este experimento clásico puede tomarse como eje de una discusión entre dos campos que, en este caso, estarían caracterizados por dos maneras extremas de interpretarlo: la muy inocente, para la cual el experimento se puede extender directamente al mundo y a la población humana, y la no menos inocente que plantea la inconmensurabilidad entre un experimento con bacterias, por un lado, y por el otro, la humanidad con sus muy diversos recursos de ingenio, iniciativa e intencionalidad.

LA INCERTIDUMBRE DE LAS PREDICCIONES NUMÉRICAS

Las preguntas planteadas anteriormente, y la estrategia de buscar límites a la población humana mundial a partir de estimaciones de lo que puede limitarla, son dos de los temas principales en el libro de Joel Cohen *¿Cúanta gente cabe en la Tierra?*[1] Cohen, director del Laboratorio de Poblaciones en la Universidad Rockefeller, ha abordado el tema del límite poblacional de la Tierra con la voluntad explícita de presentar lo (poco) que sabemos con certeza. Con plena conciencia de que a fuerza de argumentos racionales casi cualquier cosa es demostrable si se parte de las premisas adecuadas, Cohen establece sus premisas con sumo cuidado y busca las conclusiones más correctas aun cuando esto signifique un sacrificio de la precisión. Frente a un problema tan complicado, ésta es una buena estrategia. Después de todo, en el ejemplo anterior ¿qué importa si el número es 10^{20} o 10 veces más o 10 veces menos? La voluntad de Cohen es arribar a conclusiones que no puedan ser descartadas.

---

[1] Joel E. Cohen, *How Many People Can the Earth Support?*, Norton, Nueva York, 1995.

Este problema es muy complicado. A diferencia de lo que ocurre en el ejemplo de las bacterias —en el que se hace lo necesario para que el problema sea simple controlando todas las variables que pudieran afectar las conclusiones—, y a diferencia de lo que ocurre en el ejemplo del carbono —en donde el problema es simplificado mediante suposiciones extremas—, el problema real de la población mundial es extremadamente complejo tanto porque las variables relevantes no pueden ser controladas cuanto porque esas variables tienen valores reales que no permiten tomar sólo una de ellas en cuenta y despreciar a las demás. El problema depende de muchas variables relacionadas entre sí de maneras desconocidas y, adicionalmente, depende de algo totalmente desconocido: la capacidad de la humanidad de modificar radicalmente sus hábitos de conducta. Para poder estudiar un problema de esta índole es necesario extraer muy diversas armas del arsenal estándar de la ciencia. Así, Cohen presenta en su libro los elementos de demografía, matemáticas, estadística y teoría de la información necesarios para comprender tanto el planteamiento del problema como las soluciones parciales que se proponen.

Al abordar este tema, se presentan de inmediato varias preguntas: ¿cuál es la limitante principal para la población mundial? No hay acuerdo al respecto, pero a lo largo de la historia se ha pensado en la disponibilidad de alimentos como la limitante esencial. Desde luego, hay otros candidatos: la cantidad de agua dulce, el espacio disponible y la radiación solar (como ingrediente necesario en la fotosíntesis), por ejemplo. En la aplicación del método de las *cotas superiores,* podemos buscar el límite poblacional a partir de cada una de las posibles causas como si fuera la única.

Pero hay otros problemas. Lo que intentamos hacer anteriormente (buscar el límite basados en una posible restricción: comida, agua, carbono) es una predicción téorica. Para aplicarla necesitamos de dos cosas: un modelo téorico de cómo funciona esa restricción y los datos empíricos de las cantidades necesarias para este modelo. Por ejemplo, si pensamos de nuevo en la cantidad de alimentos como limitante de la población mundial, dentro de un modelo que supone que todos los alimentos existentes estarán disponibles para los seres humanos que los requieran (suposición que, según podemos ver en multitud de ejemplos, no se cumple) necesitamos, para obtener respuestas cuantitativas, datos más o menos precisos acerca de la cantidad de alimento que satisface las necesidades de un ser humano, el área cultivable en la Tierra y el rendimiento de los cultivos, por señalar unos cuantos datos. Ninguna de estas cantidades se conoce con precisión o, para decirlo de otra manera, cualquiera de estas cantidades ha sido el sujeto de un enconado debate entre quienes se han preocupado por asignarles un valor. En suma, dada la complejidad del problema, tendremos inevitablemente que trabajar con modelos aproximados y con valores aproximados de los parámetros de estos modelos. Los resultados serán, necesariamente, aproximados. Pero interpretados juiciosamente nos permitirán obtener conclusiones convincentes que señalan hacia la necesidad de atender este problema urgente.

La incertidumbre de los resultados, inherente al problema, lleva a Cohen a recomendar que todos los números que se presentan en su libro sean tomados como estimaciones. Incluso aquellos que se obtienen empíricamente y que son independientes de un modelo. Veamos un ejemplo. El cuadro III.1 muestra distintas estimaciones de la población de la India para el año de 1991.

Cuadro III.1. *Estimaciones de la población de la India*

Fecha	*Población estimada*	*Fuente de la estimación*
1990	849500000	Banco Mundial, 1992
1990 “provisional”	827057000	Organización de las Naciones Unidas, 1992
1990 “estimada”	853400000	Population Reference Bureau, 1990
1990	853080000	World Resources Institute, 1992
Marzo de 1991 “provisional”	843930861	Central Statistical Office, 1992
Julio de 1991	866351738	Central Intelligence Agency, 1991

Como se ve, los números son distintos; afirmar que la población era de 843930861 seres humanos sería un disparate. Sin embargo podemos decir con mucha seguridad que la población de la India en 1991 estaba entre 820 y 850 millones de seres humanos. Para muchos fines, esta precisión es suficiente.

Por otro lado, hay algunos resultados numéricos que son precisos y cuyas consecuencias son claras, únicas e inequívocas. Cohen escribe:

> Los números son inescapables e indispensables. Los números por sí solos nos revelan que, por ejemplo,

una población que crece en 1.6% anual duplica su tamaño en menos de 44 años. Los números por sí solos nos dicen que una población mundial que continúa creciendo, región por región, de la manera en que estaba creciendo la nuestra en 1990, alcanza un tamaño de 11 000 millones en 2025. Los números revelan, por sí solos, que es imposible a largo plazo que una población que tenga una esperanza de vida alta y una alta tasa de natalidad no continúe creciendo; cualquier pareja de características puede coexistir, pero no las tres.

Para terminar con esta larga lista de consideraciones acerca de la validez de las predicciones cuantitativas, Cohen nos recuerda el concepto de "análisis de sensibilidad" de una predicción cuantitativa. La idea es que pequeñas variaciones en una cantidad pueden manifestarse en variaciones gigantescas en otra cantidad derivada de la primera. Por ejemplo, el tamaño de la población mundial futura depende críticamente de la tasa de natalidad futura. Cohen escribe:

> Si, hipotéticamente, de 1990 en adelante la pareja típica se acercase gradualmente a un nivel de fertilidad tan sólo una décima *por encima* del nivel de remplazo, entonces la población mundial pasaría de 5.3 miles de millones en 1990 a 12.5 miles de millones en 2050 y a 20.8 miles de millones en 2150. Si, por el contrario y también hipotéticamente, de 1990 en adelante la pareja típica se acercara gradualmente a un nivel de fertilidad tan sólo una décima *por debajo* del nivel de remplazo, entonces la población mundial crecería de 5.3 miles de millones en 1990 a un máximo absoluto de 7.8 miles de millones en 2050 y continuaría disminuyendo para pasar por 5.6 miles de millones en 2150. Si, de nuevo hipotéticamente, a partir de 1990 la pareja típica tuviera exactamente el nivel de fertilidad de remplazo, la población mundial crecería de 5.3 miles de millones en 1990 a 7.7 miles de millones en 2050 para estabilizarse alrededor de 8.4 miles de millones en 2150.

Pequeñas variaciones en el nivel de fertilidad producen escenarios muy distintos.

Con estas precauciones presentes, podemos entrar en materia.

La transición demográfica y la economía mundial

No cabe duda de que en la actualidad, tanto la población mundial como su tasa de crecimiento presentan máximos históricos. Nunca antes habíamos sido tantos; nunca antes nos habíamos reproducido a tal velocidad. En 1990 nacieron cerca de 90 millones de seres humanos, para sumarse a la población de aproximadamente 5 600 millones. Esto significa un aumento de 1.6%. Si extrapolamos este crecimiento para el *pasado*, es decir, si nos preguntamos durante cuánto tiempo debe crecer una población con esa tasa para llevarnos de Adán y Eva a la población actual, obtenemos un total de 1 370 años. (Claro que Adán y Eva no hubieran podido ser responsables, ellos solos, de una tasa de crecimiento del 1.6%; pero este error sólo le suma unas cuantas decenas de años a esta estimación.) Así, tenemos una primera conclusión incuestionable: la tasa de crecimiento actual es la más alta de la historia.

Cohen realiza una breve revisión de los datos disponibles sobre la población humana y las tasas de natalidad, y de las hipótesis acerca de las causas de sus modificaciones a lo largo de la historia. Contamos, por ejemplo, con historias documentadas acerca de las tasas de natalidad y mortalidad en diversas épocas, contamos con censos antiguos (el de Egipto, por ejemplo) y contamos con explicaciones de las súbitas modificaciones de estas cantidades, como la Revolución Industrial y el aumento de la población urbana. Quizá sea de mayor relevancia en la actualidad la hipótesis de la "transición demográfica", que pretende explicar el patrón de cambios recientes en la fertilidad de distintas poblaciones. Según esta hipótesis, en la modernidad las tasas de fertilidad se han modificado de acuerdo con un mecanismo de cuatro pasos. Idealmente, este mecanismo se inicia con una situación en que la tasa de natalidad es muy alta, pero también lo es la tasa de mortalidad, de tal manera que la tasa de crecimiento es cercana a cero. En el segundo estado, la tasa de natalidad se mantiene alta, pero la tasa de mortalidad disminuye de tal manera que la tasa de crecimiento poblacional aumenta, y aumenta consecuentemente la población. El tercer estado se presenta cuando la tasa de natalidad disminuye y la tasa de mortalidad se conserva pequeña, de tal manera que la tasa de crecimiento poblacional disminuye. Finalmente, en el cuarto estado, la tasa de natalidad es pequeña, la tasa de mortalidad es pequeña y la tasa de crecimiento poblacional es casi cero, como en el primer estado, con la diferencia de que la población es mucho mayor que cuando se inició este mecanismo.

Según este modelo, los distintos países están en diferentes estados de la transición demográfica, usualmente correlacionados con su grado de desarrollo (según se define en la modernidad). Así, los países más pobres de África se encuentran en el primer estado, los países africanos menos pobres y algunos de Latinoamérica en el segundo, los países más desarrollados en el tercero y algunos países del norte de Europa están llegando a la cuarta situación. Como sabemos, un modelo como éste no es rígido y los cuatro estadios se presentan de maneras muy diferentes en los distintos países. En 1946, la tasa de mortalidad en Argelia era mayor que la de Suecia en 1775. En 1954, la tasa de mortalidad en Argelia era menor de lo que había sido en Suecia en 1875. La misma etapa de la transición demográfica tomó 100 años en Suecia y sólo 10 en Argelia.

A diferencia de los experimentos que podemos hacer con bacterias, los procesos demográficos de los diferentes países son muy heterogéneos. Una de las características de las conclusiones científicas es la reproductibilidad de los experimentos que las sostienen; en los problemas demográficos tal reproductibilidad es imposible. La transición demográfica en Francia y en México, por ejemplo, ocurrió en condiciones muy distintas: el mundo de finales del siglo XIX era muy diferente al de 1960. Así, el mundo en el que nacen actualmente los habitantes de países del Tercer Mundo, en etapas tempranas de la transición demográfica, es uno de crecientes desigualdades económicas. Una manera de presen-

DISTINTOS ESCENARIOS DE LA POBLACIÓN MUNDIAL FUTURA

En 1992, la ONU publicó un estudio que contiene varias estimaciones de la población mundial para el año 2150. Los autores, conocedores de la incertidumbre de cualquier proyección de este tipo declararon que estas proyecciones, para dentro de 160 años, no pueden ser de ninguna manera una predicción de los patrones poblacionales futuros en el mundo. Sin embargo, ilustran la evolución del tamaño de la población mundial dentro de escenarios posibles —si bien hipotéticos— de los niveles futuros de fertilidad y mortalidad.

La población mundial se dividió en dos grupos, el de los países desarrollados (Europa, Norteamérica, Oceanía y la antigua Unión Soviética) y el de los países del Tercer Mundo (todos los demás). En 1990 había 1 100 millones de personas en el primer grupo y 4 200 millones de personas en el segundo. En todos los escenarios estudiados se aplicó la suposición de que la esperanza de vida media continuará creciendo gradualmente hasta alcanzar un valor límite de 85 años en promedio (87.5 años para las mujeres y 82.5 para los varones), y que tal estado se alcanzará primeramente en el grupo de los países desarrollados y después en los países del Tercer Mundo.

La diferencia entre las distintas estimaciones radica en variantes en la tasa de fertilidad. Las suposiciones extremas que se emplearon en el estudio para esta magnitud fueron, por un lado, que la tasa de fertilidad permaneciera constante e igual al valor que tuvo en ese año; y, por el otro, que la tasa de fertilidad disminuyera abruptamente hasta alcanzar el nivel que se conoce como "de remplazo".*

Para la esperanza de vida límite (85 años promedio) supuesta en este estudio, la tasa de fertilidad de remplazo equivale a 2.06 hijos por mujer.

En el caso de la tasa de fertilidad constante, se supone que las tasas de fertilidad por región se mantienen iguales a las observadas en 1990, mientras que la esperanza de vida media aumenta gradualmente hasta llegar al límite establecido. La tasa de fertilidad de los países del grupo I son pequeñas: en Norteamérica y Europa era de 1.8 hijos por mujer, la de la antigua Unión Soviética de 2.4 hijos por mujer; mientras que la tasa de fertilidad de los países del Tercer Mundo son más grandes y más dispares: 2.5 en China, 4.1 en Latinoamérica y 6.5 en África. La tasa de fertilidad mundial depende de la composición de la población: el grupo más numeroso inclinará el promedio hacia el valor de su propia tasa de fertilidad; y como el grupo de mayor tasa de fertilidad crecerá más rápido, la tasa mundial promedio tenderá al valor que tenga para este grupo.

En el otro escenario extremo, se supuso que la tasa de fertilidad decayera súbitamente al nivel de remplazo para una esperanza de vida media promedio de 85

---

* La tasa de fertilidad de remplazo equivale a aquella con que la población mundial alcanzará, tarde o temprano, una magnitud constante, manteniendo la distribución presente de las tasas de mortalidad por edades. Naturalmente, aun cuando alcanzáramos esa tasa de fertilidad inmediatamente, la población mundial aumentaría con respecto a la actual toda vez que actualmente una gran fracción de la población no ha llegado a la edad reproductiva.

Cuadro III.2. *Población mundial (miles de millones)*

Año	*Tasa de fertilidad constante*	*Tasa de remplazo*
1990	5.3	5.3
1995	6.5	5.8
2025	11.0	7.1
2050	21.2	7.7
2075	46.3	7.9
2100	109.4	8.1
2150	694.2	8.4

años (2.06 hijos por mujer) que se habría de alcanzar gradualmente.

Los resultados del estudio se presentan en el cuadro III.2.

No es probable que para mañana la tasa de fertilidad alcance el valor de remplazo. No es posible que la tasa de fertilidad se mantenga en sus valores actuales durante mucho tiempo más. Puede pasar que la tasa de fertilidad alcance el valor de remplazo gradualmente; distintas suposiciones con respecto a la rapidez con la que esto ocurre constituyen los escenarios adicionales considerados en el estudio de la ONU.

Como veremos más adelante, es altamente improbable que se pueda mantener una población sobre el planeta del tamaño de la predicha en el escenario de la fertilidad constante: ésta tiene que disminuir, ya sea mediante una reducción del número de hijos por mujer, ya sea mediante una reducción de la esperanza de vida media.

Desde luego, estas conclusiones corresponden a valores fijos específicos de la tasa de fertilidad. Como un ejemplo del análisis de sensibilidad, cabe mencionar las diferencias en la población mundial en 2150 si la tasa de fertilidad alcanzara un valor constante ligeramente distinto del nivel de remplazo. Por ejemplo, si la tasa de fertilidad se estabilizara en 1.96 hijos por mujer, la población mundial llegaría a un máximo de 7 800 millones en 2050 y luego disminuiría continuamente pasando por 5 600 millones en 2150. Mientras que si la tasa de fertilidad alcanzara el valor constante de 2.17 hijos por mujer, la población mundial crecería continuamente pasando por 20 800 millones en 2150.

¿Cabe esperar una transición en las tasas de fertilidad de los países del Tercer Mundo? Esta pregunta, previsiblemente, ha provocado respuestas contradictorias. Quizá sea conveniente citar solamente los argumentos que se han manejado para justificar la esperanza de que sí ocurra:

- La planeación familiar ya no es un tema tabú.
- Las religiones mayoritarias en los países pobres —con la notable excepción de la religión católica— *no* se oponen al control de la natalidad.
- Existen nuevos métodos anticonceptivos más confiables, más accesibles y más baratos.
- Ha aumentado la voluntad estatal por promover el control de la natalidad.

ESTIMACIONES ACERCA DE LA POBLACIÓN MÁXIMA DE LA TIERRA

Las estimaciones acerca de la población máxima de la Tierra tienen una larga —e ilustre— historia. Cohen hace un estudio histórico que incluye unas 70 y abarca más de 300 años. Con mucho, la principal limitación considerada es la producción posible de alimentos. En algunas estimaciones, ésta es la *única* limitante. En otras, alguna otra limitante (la cantidad de agua dulce disponible, la cantidad de radiación solar) se convierte en una limitante para la producción de alimentos. Sólo en unas cuantas se considera una limitante que no se convierte directamente en la capacidad de producción de alimentos, como en el ejemplo citado anteriormente de la cantidad de carbono en la Tierra.

Para calcular la capacidad máxima de producción de alimentos debemos estimar cuando menos tres factores: los requerimientos alimentarios por persona, el área disponible en la Tierra para la producción de alimentos y el rendimiento de la producción por unidad de área dedicada a ella. Ninguno de estos factores se conoce con precisión. Por ejemplo, las estimaciones acerca de los requerimientos alimentarios por persona se calculan generalmente en términos del consumo energético equivalente, es decir de las calorías equivalentes que un alimento proporciona.*

Las estimaciones de la cantidad mínima de calorías necesaria para sustentar la vida de un ser humano varían grandemente y van desde 1500 kilocalorías diarias hasta más de 3000. Desde luego, esta incertidumbre influirá en el resultado de una estimación de la población máxima posible de la Tierra. De la misma manera, no hay acuerdo sobre la superficie disponible para la producción de alimentos en la Tierra. Algunas de las estimaciones incluyen asignaciones de esta superficie basadas en la ponderación de las distintas regiones de acuerdo con la orografía, la latitud y el clima. Finalmente, la capacidad de producción de un área determinada, aun tomando en cuenta estas últimas consideraciones, depende en gran medida de las técnicas de cultivo empleadas así como de los insumos (irrigación, fertilizantes, plaguicidas, mano de obra, tecnología, etcétera) disponibles para la producción.

Si suponemos conocidas estas cantidades, es posible estimar la producción máxima de alimentos mediante la fórmula que Cohen atribuye a Penck:

$$P = (AP)(PPA)/RNPI,$$

en donde P representa la máxima población posible de la Tierra; AP, el "área productiva" total de la Tierra; PPA, la producción por unidad de área, y RNPI, el requerimiento nutricional promedio individual.

Hay otros factores que pueden alterar la predicción de P. La equivalencia energética de la dieta puede obtenerse mediante el consumo de un solo tipo de alimento o, más realistamente, mediante el consumo de una *variedad* de alimentos. Y los alimentos tienen distintos rendimientos de productividad por unidad de área dedicada a su cultivo. No sólo son distintos los rendimientos de diferentes cultivos vegetales (el trigo comparado con el maíz, por ejemplo), sino que también son distintos de los rendimientos de alimentos de origen animal. Desde luego, se puede estimar la diferencia en el rendimiento de los alimentos de origen animal y equipararlos con la cantidad de alimentos de origen vegetal que se requieren: por ejemplo, estimaciones recientes determinan que una kilocaloría de valor nutricional de origen animal equivale a entre cinco y 15 kilocalorías de origen vegetal.

---

* El término *caloría* se refiere a una cantidad de energía. La definición usualmente empleada para referirse al valor nutricional equivale a 1000 veces la definición de *caloría* de la física. Una caloría "física" equivale a la cantidad de energía necesaria para elevar la temperatura de un gramo de agua en un grado centígrado. Mil de ellas constituyen una *caloría* nutricional. Nótese que el consumo diario mínimo se expresa en kilocalorías "nutricionales", es decir, en megacalorías "físicas".

También influye la distribución (recolección, traslado, almacenaje) de los alimentos. Se estima que cerca del 40% de la producción actual de alimentos se pierde en el traslado del sitio de origen al sitio de consumo.

Finalmente, una estimación realista debe incluir la consideración de que la producción debe ser sostenible. En la actualidad no sabemos de los efectos secundarios que pudiera tener, por ejemplo, que dedicáramos toda la tierra disponible a la producción de alimentos; eliminando todas las áreas que en la actualidad mantienen flora o fauna que no es consumida por la población humana (bosques, selvas); en cambio, sabemos que los rendimientos máximos de la producción requieren una constante inversión de insumos para ser sostenibles y evitar el agotamiento de la tierra y la erosión, por ejemplo.

Con estas consideraciones, es claro que cualquier estimación de la capacidad de producción de alimentos en la Tierra será muy imprecisa. Ante tal situación existen dos posibilidades relevantes; en una, siguiendo el método de las cotas superiores, podemos elegir valores extremos de las variables relevantes de tal manera que la predicción constituya una cota superior a la población humana posible en la Tierra. Emplearíamos la máxima área productiva concebible, la máxima producción que se haya alcanzado por unidad de área, el valor mínimo de consumo individual diario de calorías y supondríamos que la alimentación de esa población estaría basada en aquel alimento —ciertamente de origen vegetal— que mayores rendimientos energéticos tenga por unidad de área cultivada.

En el otro ejercicio posible, se intenta encontrar valores realistas para las cantidades involucradas, de tal manera que la predicción, sin ser una cota, represente una estimación plausible.

Ambos ejercicios han sido llevados a cabo. Por ejemplo, se ha hecho la estimación de que, si la única fuente alimenticia fueran algas, la capacidad máxima de la población de la Tierra es de 50 000 millones de personas (Brown, 1954). Otra estimación supone que si *toda* la tierra se dedica al cultivo de alimentos de origen vegetal, excepto una fracción equivalente a 750 metros cuadrados por persona para usos urbanos, la capacidad poblacional de la Tierra es de 146 000 millones (De Wit, 1967).

Las estimaciones que aspiran al realismo cambian con el tiempo de acuerdo a la disponibilidad de más y mejores datos acerca de la productividad de los cultivos, de la orografía de la tierra cultivable y de la tecnología empleada. Por ejemplo, en 1958 se suponía que el área cultivable de la Tierra era de 77 millones de kilómetros cuadrados; y que si se alcanzaban los máximos de productividad observados en las tierras de mejor rendimiento —las granjas holandesas de la época—, podrían habitar 28 000 millones de personas en la Tierra (Clark, p. 408).

Más tarde, en 1976, se considera que el total de la superficie cultivable de la Tierra es de 32 millones de kilómetros cuadrados, y se estima que cinco millones de kilómetros cuadrados pueden producir tres cosechas anuales, ocho millones dos cosechas y el resto sólo una cosecha anual. Se descuentan las tierras en los trópicos húmedos ya que no contamos con la tecnología para explotar ese tipo de terreno agrícolamente a gran escala. Si, finalmente, se supone que los rendimientos sostenibles en todas estas tierras fueran la mitad de los máximos rendimientos actuales (los de las planicies de Estados Unidos), que reservemos un 10% del total de tierra cultivable para obtener fibras y maderas y que las pérdidas por plagas y otros fenómenos naturales fueran despreciables, entonces se podrían producir alimentos para una dieta de 2 500 kilocalorías diarias (estrictamente vegetariana) para cerca de 40 000 millones de seres humanos (Revelle, p. 412).

Finalmente están las estimaciones que incluyen alguna medida de la calidad de vida de la población, más allá de la cantidad de calorías de origen vegetal que se podrían garantizar; y aquellas que reconocen los obstáculos actuales que enfrentaría un esfuerzo como el necesario para hacer realidad una estimación como la de Revelle: la inversión en la infraestructura necesaria, el consentimiento de *toda* la población de adoptar una

dieta específica, la superación de conflictos raciales, nacionales, y una larga lista de etcéteras.

Por ejemplo, Farrel *et al.* escriben:

> Creemos que el mundo *posee el potencial para alimentar a una población creciente de 6 100 millones de personas en el año 2000 un poco mejor de lo que alimentó a 4 300 millones en 1984.* Pero queremos enfatizar el uso de la palabra *potencial*. Hacerlo requiere grandes inversiones para mejorar la infraestructura agrícola, inversiones mayores en la investigación y la educación que estimulen el desarrollo y la aplicación de tecnologías que aumenten la producción, políticas estatales que otorguen mayores incentivos a la producción agrícola en los países del Tercer Mundo y una ampliación en el comercio internacional. Consideramos que un 85% del aumento que esperamos en la producción provendrá del aumento en la productividad y sólo 15% en el aumento del área cultivable.

Para Chen, la producción de alimentos de 1989 hubiera podido alimentar potencialmente, con base en una dieta vegetariana de subsistencia, a 5 900 millones de personas, con una dieta mejorada (con un 15% de proteínas de origen animal) a 3 900 millones de personas, y con una dieta completa (y "sana", es decir, con un 35% de proteínas de origen animal) a 2 800 millones de personas (Chen, p. 416). (¡La población mundial en 1989 era mayor a 5 000 millones de personas!)*

---

* Podemos sacar dos conclusiones inmediatas de estos datos. Una nos dice que la producción de alimentos era suficiente (ape-

Cohen refiere el trabajo de Ehrlich:

> Si la sociedad concentrara sus esfuerzos en mejorar los sistemas de producción y distribución agrícola en todo el mundo, podríamos cultivar una cantidad de alimentos sustancialmente mayor que la que se cultiva en la actualidad, por un rato. Es improbable, sin embargo, que pudiéramos asegurar la alimentación de una población de 10 000 o 12 000 millones de personas indefinidamente. Pareciera que la población sostenible, en número adecuadamente menor que la capacidad máxima de la Tierra, sería bastante menor a los 5 500 millones de personas que viven actualmente. Cuánto menor, depende parcialmente en cuán seriamente se ha degradado la capacidad de la Tierra debido al exceso poblacional actual [Ehrlich, p. 417].

CONCLUSIONES Y LOS PROGRAMAS DE CONTROL DE LA NATALIDAD

El problema de estimar la población humana máxima que puede soportar la Tierra es complejo y no tiene respuesta única. No sabemos con certeza ni siquiera definir el problema, y mucho menos disponemos de una respuesta confiable. Pero podemos afirmar que es muy improbable que las estimaciones aproximadas que hemos reseñado estén completamente equivocadas. Quizá la conclusión más importante de estas estimaciones sea que, siguiendo métodos muy distintos, la mayoría de ellas llega a números similares.* No importa si la capacidad de la Tierra alcanza para alimentar a 8 000 millones de seres humanos o a 25 000 millones; lo importante es que, con tasas de crecimiento similares a la actual, alcanzaremos ese límite en un futuro muy cercano. Es una firme conclusión la de que estamos adentrándonos en la zona límite para la población mundial que puede vivir en nuestro planeta.

La tasa de crecimiento de la población mundial alcanzó un máximo histórico de 2.1% anual alrededor de 1965. Desde entonces, ha disminuido hasta llegar a la tasa actual de 1.6% anual. De acuerdo con el modelo de la transición demográfica, para 1965 el crecimiento correspondía al segundo estado de la transición (alta tasa de natalidad y baja tasa de mortalidad); mientras que ahora estamos más cerca del tercer estado (menor tasa de natalidad y baja tasa de mortalidad). El control de la natalidad se ha extendido de manera importante en la población mundial. Sin embargo, la tasa actual de crecimiento poblacional es aún muy grande. Como mencionamos, esta tasa implica la duplicación de la población mundial en un plazo de 44 años; y, según nuestra conclusión plausible de que la población mundial

---

nas) para atender a la población mundial y que las desigualdades e injusticias que observamos se deben al modo de producción y distribución desigual e injusto dentro del que vivimos; quizá un orden económico distinto disminuiría éstas. La otra conclusión inmediata es que quizá sea probable aumentar la producción de alimentos si aumenta la necesidad, es decir, la población. De nueva cuenta, en este orden económico el aumento de la población no implica un aumento en la "necesidad" económica.

* Consideramos similares números que difieren por un factor de tres o cuatro.

máxima está entre 8 000 y 20 000 millones de personas, podemos llegar a la conclusión general de que es inevitable la disminución abrupta de la tasa de crecimiento poblacional. Los mecanismos extremos que nos pueden llevar a esta reducción —insisto, inevitable— son, por un lado, la imposición drástica de programas centrales (de los gobiernos de todos los países o, peor aún, de los gobiernos de unos pocos países) y, por el otro, del choque con los límites naturales del planeta. Ninguno de estos dos extremos puede ser deseable para nadie. En medio de estos extremos, está la posibilidad de arribar a esta reducción de la tasa de crecimiento poblacional mediante la acción racional, gradual, democrática y persuasiva. Para lograrlo, Cohen propone los siguientes requisitos indispensables:

- la difusión y promoción de los métodos anticonceptivos;
- el desarrollo de la economía en todos los países; la atención y el cuidado de los infantes;
- la ampliación de las oportunidades *(empowerment)* de las mujeres;
- la educación de los varones,
- y todo lo anterior.

Cohen resume su estudio en la siguiente parábola:

Un gran camión sale de un pequeño pueblo, llamado Aquí, a una bella ciudad llamada Allá. La ciudad de Allá se encuentra del otro lado de una cordillera. La ruta que lleva de Aquí a Allá tiene riesgo de deslaves, puentes helados y una persistente niebla. Sin embargo, se puede recorrer con seguridad siempre y cuando el camión viaje con lentitud conmensurable con la carga que lleva. Entre más pesada ésta, menor es la máxima velocidad con que se pueden tomar las cerradas curvas del camino.

El camión es la Tierra, su carga, la población humana. La probabilidad de un accidente serio depende de la carga que transporte el camión, de la velocidad a la que viaja, de qué tan bien sujeta vaya la carga y de los peligros que se encuentran en el camino.

Desde luego, esta imagen es imperfecta porque la carga, la población humana, pone miles de millones de manos en el volante, miles de millones de pies en el acelerador y miles de millones de pies en el freno. La gente influye en los cambios que ocurren, pero cada cambio interactúa con leyes físicas, químicas y biológicas aún ocultas por la niebla del camino, así como interactúa con respuestas económicas, sociales, políticas y culturales que son aún menos conocidas. El tiempo necesario para efectuar cualquier transición restringe todos los aspectos de la población máxima posible.

El crecimiento de la población y el aumento en los efectos ambientales que la existencia de cada persona provoca otorga cada vez menos tiempo a las comunidades actuales para ajustarse social, económica y tecnológicamente. En Norteamérica, en el término de una vida humana, la mayor parte de los recursos petroleros fácilmente accesibles han sido consumidos. En África, una décima parte de los recursos forestales se agotaron entre 1980 y 1990. En una década de pesca en gran escala en el Antártico la población de peces disminuyó alarmantemente.

una semana en una banda de casi 10 dólares por barril —una oscilación de 15% en su precio de 65 dólares— y el *New Yorker* publica un reportaje sobre una de las 10 fábricas de automóviles más importantes de China; ¡ah!, y todos los anuncios de la televisión se tratan de coches en paisajes desiertos.

Todas estas noticias pueden ser sólo un corte transversal de la trivialidad de la prensa diaria, o pueden ser, cuando las veamos con la perspectiva del toro pasado, la clarísima evidencia de la llegada de la Prolongada Emergencia de la que trata el libro de James Howard Kunstler, *La prolongada emergencia: sobrevivir las catástrofes convergentes del siglo XXI.*[1]

El asunto vuelve a estar relacionado con algunas de las cosas que hemos discutido en estas lecturas. La actividad humana sobre el planeta ha seguido un aumento exponencial, y todos los aumentos exponenciales son temporales en un mundo finito. La evidencia de lo finito que parece más urgentemente abrumadora para la humanidad en su estado actual de civilización es la disponibilidad de combustibles fósiles. Otras compiten —calentamiento global, escasez de agua dulce, desertificación, epidemias virulentas generalizadas, etcétera—, pero de acuerdo con Kunstler la que puede llegar primero es la relacionada con la energía. Todo hace suponer que estamos muy cerca de llegar al momento en que la producción mundial de petróleo alcance su máximo histórico. Es decir, que está cerca el día en que vamos a producir más petróleo que nunca antes en la historia de la humanidad —ésta es la parte buena de la noticia, si se quiere— y que nunca más en la historia de la humanidad —y ésta es la tragedia— produciremos petróleo en esas cantidades. Porque en el crecimiento exponencial de nuestra actividad la demanda de petróleo seguirá aumentando exponencialmente, pero la producción no será suficiente para satisfacerla. Desde luego que esto está relacionado con que se acabe el petróleo que, como sabemos, es una fuente de energía no renovable; pero la alarma es más grave porque se anticipan graves efectos mucho tiempo antes de que se acabe el petróleo. Cuánto petróleo queda en el momento en que llegamos al pico de producción depende de la forma en que lo hemos explotado; interesantemente, todo parece indicar que ha sido de tal manera que queda algo así como la mitad de todo el petróleo existente. El problema urgente no es, entonces, que se vaya a acabar pronto el petróleo; el problema urgente es que la demanda va a superar a la oferta muy pronto. Esto ha sucedido muchas veces con otros bienes. Seguramente la ciencia económica ha desarrollado multitud de modelos explicativos de cómo se ajusta el mercado ante las fluctuaciones de la demanda y la oferta. Lo que vuelve especial la situación en el caso del petróleo es la ubicuidad de nuestra dependencia de que haya mucho y muy barato.

La explosión exponencial de la actividad humana de los últimos 100 años está soportada por la abundantísima disponibilidad de energía barata. Para donde volteemos encontramos otro ejemplo de que la forma actual de vida —en contraposición a la manera en que realizábamos la actividad humana correspondiente hace, digamos, 200 años— existe porque tenemos acceso a energía barata. En el libro de Kunstler los ejemplos cunden. Tomemos para empezar el ejemplo obvio del transporte. En la forma de vida urbana habitual, cada uno de nosotros viaja decenas de kilómetros diariamente. Entre más moderna la ciudad, o el habitante individual del que estamos hablando, mayor es la distancia que recorre diariamente. La locura de una persona que viaja 50 kilómetros diarios de ida y otros tantos de vuelta para ir a su trabajo no es anormal en la ciudad de México. La locura del que viaja —solo, en un auto de 250 caballos de fuerza y aire acondicionado— 100 kilómetros en cada dirección es común en el área de la bahía de San Francisco. No es raro encontrar a alguien que viaja 2 000 kilómetros en avión para estar 24 horas en su destino... cada semana. Nos movemos en edificios de decenas de pisos que requieren suministro ininterrumpido de electricidad para poder funcionar —¿alguna vez has tratado de subir más de 10 pisos de un jalón?—, vivimos en horarios y en condiciones que exigen la iluminación artificial; enfriamos nuestros alimentos y calentamos nuestro ambiente, transportamos nuestra comida cientos de kilómetros antes de consumirla; en fin, consumimos energía. Pero el nivel de consumo individual, aunque generalizado, no es el único y pudiera no ser el más grave. Además hay que considerar el de la infraestructura que permite todo esto. Principalmente en cuanto a la explosión exponencial de la actividad humana en la generación de alimentos. La revolución verde consiste principalmente en la mecanización y petroquimicalización —y recientemente un poquito de bioquimicalización— de la agricultura.

---

[1] J. H. Kunstler, *The Long Emergency: Surviving the Converging Catastrophes of the Twenty-first Century,* Atlantic Monthly Press, Nueva York, 2005.

Las mejoras en el rendimiento de los cultivos o de la crianza de animales están basadas, primero, en la existencia de máquinas que realizan el pesado trabajo de mover la tierra, el agua, el producto, la ordeña, etcétera y, segundo, en una marea de aditivos, generados a su vez mediante el consumo de grandes cantidades de energía, que permiten los rendimientos de los que disfrutamos: fertilizantes, herbicidas, insecticidas, hormonas, etcétera. La capacidad de soporte de la Tierra —la cantidad de seres humanos que pueden vivir simultáneamente— depende de la producción de alimentos, y los números que hemos alcanzado dependen de estos insumos producto de la energía barata. Sin ellos, la capacidad de soporte es mucho menor; las diferencias en el tamaño de esta capacidad de soporte se pueden estimar considerando que antes de la mecanización de la producción agrícola —a principios del siglo XX— la población humana nunca fue mayor a 2 000 millones de personas.

Esto por el lado de la producción de alimentos. Pero la infraestructura basada en la abundancia de energía barata está presente en todos los aspectos de la vida moderna, es la esencia de la globalización, es lo que nos permite en la actualidad ver al mundo como un lugar pequeño, accesible. En la economía de la globalización es esencial que distintos grupos o regiones se especialicen en alguna actividad económica y que cuenten con los insumos —normalmente producidos en otro lugar— necesarios para realizar su parte en la cadena productiva; luego necesitan que sus productos puedan llegar al escalón que sigue —normalmente también situado en otro lugar—. La única forma de lograr ese movimiento masivo de materia es mediante la abundancia de energía barata.

No hay duda de que la disponibilidad de petróleo va a ser mucho menor en el futuro cercano de lo que ha sido a lo largo del siglo XX. Habrá cada vez mayor demanda por un bien cada vez más escaso. Pero, ¿necesariamente significa eso el fin de la disponibilidad de energía barata? ¿No hay maneras alternativas de generar energía y distribuirla? Parece que no. Muchas de las fuentes alternativas que se han propuesto son posibles sólo dentro de la economía sustentada por la energía barata misma. Por ejemplo, la conversión de biomasa en combustible, que requiere como materia prima la biomasa —que sólo se puede producir en cantidades industriales dentro de la economía industrial— y que requiere ingentes insumos de energía para llevar a cabo el proceso de reconversión.

(Un detalle técnico: la obtención de energía que se pueda utilizar donde y cuando se desee, requiere la inversión de energía para extraer, preparar, almacenar y trasladar la energía que se quiera utilizar. Los medios más usuales en los que esto se ha hecho en la realidad son los combustibles y la electricidad. El petróleo, el gas y el carbón son medios particularmente favorables para estas manipulaciones: más o menos fáciles de extraer —minas, pozos—, más o menos fáciles de preparar —licuefacción, refinación, destilación—, más o menos fáciles de almacenar —tanques, manejo relativamente seguro— y más o menos fáciles de trasladar —*ditto*—. La relación entre la energía obtenida en un medio determinado y la energía invertida en prepararlo es una buena medida de cuán costoso es el medio, llamémosla "Energía Obtenida entre Energía Invertida" o EO/EI. El petróleo ha sido muy barato, con relaciones históricas de 20 a uno y mayores —aunque su tendencia sea a la baja conforme más difícil es la extracción en lugares de difícil acceso o en condiciones desfavorables—. Una EO/EI menor que uno vuelve inútil el medio, una EO/EI cercana a uno lo vuelve marginalmente útil.)

Las fuentes de energía alternativa pueden dividirse en dos grupos. Las que constituyen fuentes reales de energía y las que constituyen medios alternativos para disponer de ella. El ejemplo más conocido del segundo grupo es la electricidad, que se tiene que generar mediante el consumo de otro tipo de energía —hidráulica, petroquímica, eólica, solar, nuclear—. En el segundo grupo está, notablemente, también el hidrógeno. No hay hidrógeno puro en la Tierra. Todo el que se quiera quemar hay que producirlo invirtiendo energía. Puede ser que el hidrógeno sea en el futuro un medio importante de almacenar energía, pero la energía original va a tener que venir de otra parte, de las posibilidades del primer grupo. Como la hipótesis de todo este cuento es que la petroquímica va a escasear, sólo tenemos que considerar la hidráulica, la eólica, la solar y la nuclear. No hay manera de que las tres primeras puedan producir cantidades de energía cercanas a las cantidades que consumimos en la actualidad. Juntas, con un esfuerzo de investigación y de generación de infraestructura mucho mayor que el que estamos haciendo en la actualidad, podrían ayudar a que la ausencia de combustibles no sea un evento cataclismático, aunque de todas maneras implicará una modificación total de nuestra

V. EL PICO DE HUBBERT

El petróleo es un recurso natural no renovable. Acerca de eso no cabe la menor duda. Y la cantidad de petróleo que hay en la Tierra es finita. Tampoco hay duda. La humanidad consume en la actualidad grandes cantidades de petróleo; el consumo crece año con año, mes a mes, día tras día. Es aquí donde ya se puede empezar a discutir. Los *contreras* querrán discutir qué significa "una gran cantidad". Pueden argumentar que los 84 millones de barriles de petróleo que quemamos cada día no son tantos. Pudieran tener razón, el tamaño de ese número debe medirse en comparación con la cantidad —finita— de petróleo que hay en la Tierra. Y ahí es donde la puerca tuerce el rabo. Porque nadie sabe cuánto petróleo hay en la Tierra.

No obstante, los geólogos petroleros saben un montón de cosas. Y están dispuestos a compartirlas con nosotros. Kenneth Deffeyes, en *El pico de Hubbert: la escasez inminente del petróleo,*[1] nos cuenta todo —todo— lo que saben. Saben, para empezar, cómo se formó el petróleo. Aunque aquí también encontraremos disidentes ansiosos de discutir. Interesantemente, en la historia de nuestra idea acerca del origen del petróleo, los rusos son los protagonistas principales: Lomonósov —el que le dio el nombre a la Universidad de Moscú— contra Mendeléiev —el de la tabla periódica y las dos esposas—; el primero por el lado de la teoría biogénica y el segundo por el lado de la abiogénica. En la actualidad esta discusión está más o menos en el mismo estado en que se encuentra la discusión sobre la medicina alopática *vs.* la homeopática, con la excepción de que hay documentadísimos casos donde se demuestra que la homeopatía, creída a pies juntillas, cura, pero no hay evidencia aún de que la fe a pies juntillas en el origen abiogénico del petróleo lo produzca.

O ayude a encontrarlo, porque a fin de cuentas, la prueba última de la viabilidad de una teoría es que sirva prácticamente. Y lo que saben los geólogos petroleros nos ha servido admirablemente para encontrar petróleo. Deffeyes es un petrolero de la vieja escuela. Pertenece a la época de oro en que ya había montones de técnicas y teorías para orientar la búsqueda de los yacimientos y aún había dónde buscar. Los años en los que Deffeyes trabajó para Shell Oil coincidieron con la época de oro de los descubrimientos petroleros. Pero la vida en el centro del huracán de la prospección de petróleo debe ser muy movida y a los treinta y pocos años, en los sesenta, la cambió por la más relajada profesión de profesor. Lo cierto es que Deffeyes sabe cómo se busca y cómo se encuentra el petróleo: primero hay que encontrar la roca fuente —*source rock,* este neófito ensayista desde luego no sabe cómo le decimos en Pemex—, un estrato del hojaldre del subsuelo rico en material orgánico, formado originalmente por los restos semidescompuestos —bueno, totalmente descompuestos, pero no tanto como para que ya sean pura

---

[1] K. S. Deffeyes, *Hubbert's Peak: The Impending World Oil Shortage,* Princeton University Press, Nueva Jersey, 2001.

> tasas de producción futuras para las dos posibilidades. Incluso la estimación más optimista, de 200 000 millones de barriles, lo condujo a la predicción del pico para el inicio de los setenta. El año real del pico fue 1970.
>
> Actualmente, podemos hacer un cálculo semejante para la producción mundial. Una estimación razonable de la cantidad total recuperable en el mundo [...] es de 1.8 millones de millones de barriles. En 1982, en el último *paper* que publicó, Hubbert estimaba esta cantidad en 2.1 millones de millones de barriles. El método de Hubbert de 1956 predice el pico para 2001 si se usan los 1.8 billones y para 2003 o 2004 si se usan los 2.1 billones [pp. 1, 4].

Deffeyes sostiene que el pico de la producción mundial de petróleo ocurrió en diciembre de 2005.

Vamos a ponernos un poquito técnicos. La primera preocupación se refiere al descubrimiento de los campos petroleros. ¿Quedan grandes yacimientos por descubrir? El argumento inmediato es que cuando uno anda buscando cosas de distintos tamaños, primero encuentra las más grandes. O en su (seudo) formalización estadística que se conoce como la ley de Zipf: hágase una lista de los campos petroleros ordenados por tamaño —1. Ghawar 87 500 millones de barriles, 2. Burgan 87 083 millones, 3. Urengoy 47 602 millones, Cantarell 20 000 millones, etcétera— y nótese la interesante peculiaridad de que si se multiplica el número que tiene cierto campo petrolero en esa lista por su tamaño, se obtiene un número parecido para todos los campos de

la lista. Ésta es una seudoformalización estadística, pero lo que indica es que hay pocos campos monstruosamente grandes y muchos campos pequeños. Nada más. En una formalización estadística cabal, la misma idea dice que el tamaño de los campos petroleros debe seguir una distribución parecida a la *normal* o *gaussiana*. Muchos campos de tamaño moderado, pocos gigantes, pocos minúsculos. Desde luego, nada de esto sirve para predecir si quedan yacimientos gigantes por descubrir: el análisis estadístico vale lo mismo si quedan algunos por descubrir que si no. Así es la estadística.

Pero el asunto es relevante para el segundo detalle técnico, que se refiere al método de predicción de Hubbert. La idea principal es que la producción de petróleo, siendo finita la cantidad que existe, seguirá un patrón caracterizado por una fase de aumento, un pico y una fase de declinación de la cantidad producida. Y que ese patrón está descrito por una distribución matemática, ya sea una gaussiana, una lorentziana o una curva logística. Ésas son las suposiciones. No sabemos cuál de las tres curvas representa mejor la realidad, pero sí sabemos cómo representarlas para ver su cercanía con los datos existentes. La idea es generar una "curva de rapidez", en la que se grafica, en el eje vertical, la tasa anual de crecimiento relativo —cuánto petróleo se extrajo este año como fracción del que se ha extraído hasta la fecha—* y en el eje horizontal la extracción acumulada hasta la fecha. Esta curva acabará por llegar a cero —si la dotación de petróleo es finita, como reconocimos al principio—; cómo lo haga depende de si la distribución sigue la gaussiana, la lorentziana, la logística o alguna otra. Lo cierto es que los datos existentes concuerdan con este análisis.

---

* Es decir, si hasta la fecha hemos extraído un millón de millones de barriles y en el año extraeremos 30 000 millones, la tasa anual de crecimiento relativo será de tres por ciento.

Y concuerdan tanto para la curva de producción de petróleo como para la curva de descubrimiento. Pero como vamos más adelantados en la de descubrimiento —el descubrimiento ocurre siempre antes que la producción— podemos usar ésta para predecir aquélla. Eso hizo Hubbert con la producción de Estados Unidos, eso hacen los analistas actuales con la producción mundial. De ahí viene la predicción de que el pico ocurrirá por estas fechas.

Desde luego que la postura de cada uno de nosotros ante este análisis se verá influida por nuestras creencias, deseos y esperanzas —y por la confianza que le tengamos a las matemáticas—:

> Creo que la mayoría de la gente tiene una posición "innata" —aceptar o negar la conclusión de Hubbert—. La argumentación que hagan posteriormente es, en realidad, un intento de justificar su opinión intuitiva original. Puesto de otro modo, no he conocido a nadie que cambie de opinión al respecto como resultado de un análisis intelectual de los métodos de Hubbert [p. 134].

El breve libro de Deffeyes es una joya. Sabe todo lo que se sabe de la geología del petróleo. En su larga carrera ha conocido a todos los contemporáneos del negocio y de todos cuenta alguna anécdota divertida o espeluznante:

> Cuando el gobierno mexicano expulsó a las compañías internacionales de petróleo en 1938, un paleontólogo empleado por una de ellas contemplaba su colección sistemática de forams,* la clave de la estratografía de la costa mexicana del Golfo. La colección completa estaba en la superficie de unas laminillas de microscopio. Se dio cuenta de que podía destruir la colección entera en unos segundos arañando la superficie de las laminillas. En tanto dejara las laminillas y las muestras destruidas, no habría sacado ningún objeto físico de México. ¿La organización y clasificación de esa colección era de su propiedad intelectual? Y más prácticamente, si lo atrapaban destruyendo las muestras ¿pasaría el resto de su vida en una cárcel mexicana? El hecho histórico es que destruyó las muestras y logró escapar [p. 72].

Tiene la maldición del gran maestro: sus explicaciones de los temas más intrincados de la geología son casi perfectas, sólo tienen el defecto de ser tan claras que uno cree que ya entendió todo, hasta que trata de repetir la descripción de la explicación. Y tiene un sutil sentido del humor:

> La ley de flujo se denomina Ley de Darcy, y la unidad de permeabilidad es el darcy. (La inmortalidad científica llega cuando te pasan a minúsculas: watt, ohm,

---

* Cuando se perfora un pozo se obtienen muestras de los fósiles contenidos en la piedra que se extrae [...] los microfósiles del tamaño de la cabeza de un alfiler salen intactos y son particularmente útiles para caracterizar el sitio. Particularmente los Foraminífera ("forams").

> ampere. Un einstein es una mol de fotones.) El darcy resultó ser una unidad más bien grande; el milidarcy, un milésimo de darcy, es lo que se usa universalmente en los pozos petroleros. (Un milihelena es una cara capaz de botar un barco.) [P. 54.]

Pero en el fondo de su corazón es un petrolero:

> En 1988, los precios reales del petróleo eran los mismos que durante la gran depresión de los treinta. Al mismo tiempo, una terrible sequía afectaba las planicies. Se dice que en ese tiempo el jefe de la policía de Oklahoma dio la buena noticia de que solamente 13 mujeres en toda la ciudad se dedicaban a la prostitución. La mala noticia era que siete de ellas eran todavía vírgenes [p. 164].

Pero Deffeyes es un optimista. O al menos lo era todavía en 2001, cuando escribió este libro. No tiene ninguna esperanza en el petróleo no convencional, es decir las arenas bituminosas *(tar sands)* que son esencialmente campos petroleros a los que les faltó una buena roca que funcionara como tapa, así que el petróleo llegó a la superficie donde se evaporaron las moléculas más ligeras dejando sólo los hidrocarburos más pesados, casi sólidos. Se puede extraer petróleo de estas piedras con ingentes cantidades de agua caliente. Los problemas son que hay que invertir mucha energía para extraer el petróleo y que lo que sale no es de muy buena calidad. En particular, viene revuelto con mucho azufre. Tampoco le tiene mucha fe a las pizarras bituminosas *(oil shales)*, que son rocas fuente que nunca visitaron la ventana del petróleo —esa profundidad de 2000 a 4500 metros en la que se cuece el petróleo— y que tienen materia orgánica protopetrolera. Tampoco es fácil hacer petróleo de ahí. Las emanaciones contaminantes y los desechos que produce el procesamiento de estas piedras constituyen una pesadilla en nuestras épocas de calentamiento global. Pero decíamos que Deffeyes es optimista. Le tiene fe al gas natural. Cree que podría ser el puente que nos lleve del pico del petróleo a la época de los combustibles renovables. No que el viaje vaya a ser sencillo, ni que no tengamos que hacer ajustes traumáticos, pero seguramente nos permitirá sobrevivir, si no como civilización, siquiera como especie.

VI. PROBLEMÁTICO Y FEBRIL*

De nuevo con el tema *Hoy las ciencias adelantan que es una barbaridad.* En los inicios del siglo XXI nos hemos acostumbrado a que la técnica en la que fuimos entrenados sea inconmensurable con la técnica en la que son entrenados los profesionales que nos remplazarán cuando nos jubile el ISSSTE. O lo podemos ver así: durante una abrumadora mayor parte de la historia de la humanidad el entorno vital de un individuo —sus quehaceres diarios, sus herramientas, sus costumbres, sus relaciones sociales, sus etapas de vida, en fin, su entorno vital— era el mismo que el de su madre, su abuelo, su hija y su nieto; en cambio, en los últimos 100 años, el entorno vital de un padre es casi inconmensurable con el de su hija. O, enfatizando, como dice Vaclav Smil en su libro *La creación del siglo XX: Las innovaciones técnicas de 1867-1914 y su impacto en la actualidad,*[1]

> La enormidad del brinco posterior a 1860 es tal que la gente que vivía en 1913 estaba más apartada del mundo de sus bisabuelos que vivían en 1813 de lo que estos últimos estaban, a su vez, de sus ancestros que vivieron en 1513 [p. 304].

---

* Publicado en una versión anterior como "Problemático y febril", en *Educación Química,* vol. 18, 2007, pp. 337-340.

[1] V. Smil, *Creating the Twentieth Century: Technical Innovations*

En esta progresión, acostumbramos señalar dos momentos: la Revolución Industrial y el vertiginoso siglo XX. En este libro, Smil argumenta apasionada y convincentemente que es aún más importante destacar la Era de la Sinergia —los 30 años previos a la primera Guerra Mundial— durante la cual dos generaciones cambiaron el mundo y son responsables del ímpetu que, a principios del siglo XXI, todavía nos arrastra. Para ilustrar su caso escoge cuatro áreas de desarrollo establecidas en ese periodo de manera tan firme que no han cambiado esencialmente —aunque se han perfeccionado, sin duda— desde entonces: la electrificación de la vida, los motores de combustión interna, los procesos químicos que permitieron la fijación de nitrógeno y la creación de nuevos materiales —aluminio y acero—, y los descubrimientos de la comunicación: grabación, reproducción y difusión. Las bases de todos estos procesos están sentadas en los 30 años que atiende este libro y, como siempre que se encuentra uno con una explicación acertada, la pregunta que surge es: ¿por qué no habíamos visto esta obviedad? Los efectos de esa época de creación y desarrollo, sin precedente —y sin repetición— en la historia de la humanidad, se pueden ver de varias maneras. Una particularmente interesante es que, según Smil,

> [S]ólo dos de las 10 trasnacionales más grandes de la actualidad (ordenadas por sus utilidades del año 2000) no se crearon antes de 1914: Walmart Store (núm. 2) y

---

of 1867-1914 and Their Lasting Impact, Oxford University Press, Oxford-Nueva York, 2005.

> Toyota Motor Corporation (núm. 10). El primer lugar, Exxon-Mobil, viene del conglomerado Standard Oil de John D. Rockefeller, que se creó en 1882 y fue disuelto por el Congreso estadunidense en 1911. Los orígenes de las compañías número tres, cuatro y cinco, todas ellas fabricantes de automotores (GM, Ford y Daimler-Chrysler), ya fueron descritos. Royal Dutch/Shell (núm. 6) proviene de la fusión, en 1907, de dos compañías jóvenes (Shell 1892, Royal Dutch 1903), mientras que BP (núm. 7) fue creada en 1901 por William Knox D'Arcy para explorar la concesión petrolera de Persia. GE, cuyos orígenes se remontan a la primera compañía eléctrica de Edison de 1878, ocupó el octavo lugar en 2000, y Mitsubishi, originalmente creada como Tsukomo Shokai por Yataro Iwasaki en 1870, el noveno [p. 301].

Vaclav Smil es el conferencista de la última sesión del semestre de la serie *El futuro de la energía,* organizada por el Centro del Ambiente de la Universidad de Harvard y financiada por Bank of America. El profesor Smil nació en Praga y llegó a Estados Unidos en 1969 —¡asocie históricamente, López!—. Casi 40 años después, se presenta como profesor de la Universidad de Manitoba —¡asocie geográficamente, López!— con unos 25 libros escritos. Su conferencia está programada para las cinco de la tarde. Como a las 11 de la mañana nos hablan para decirnos que hay un *lunch* con él en el centro del ambiente y que por favor vayamos. Llegamos a las 12 en punto para encontrarnos a un señor con inconfundible aire de profesor que come su *lunch* en silencio. Un total de 15 personas se sirven de un bufete y se van sentando alrededor de una mesa gigante, mientras reanudan o inician conversaciones con sus vecinos. El profesor sigue comiendo en silencio. Unos 10 minutos después, cuando nos empezamos a preguntar si sólo íbamos a comer juntos y ya, uno de los mini-Schrags —uno de los acólitos de Dan Schrag, el director del Centro— nos presenta a Smil y organiza, como siempre, una ronda en la que cada uno de nosotros se presenta. Cuando acaban las presentaciones, se le prenden unos foquitos en los ojos a Smil —justo a un lado de un letrero que no alcanzo a ver pero que juro que está ahí y que dice *on*— y empieza a hablar. Salimos hora y media después cuando nos convencemos de que la cuenta de palabras conservará la proporción 1000:1 favor Smil contra los otros 15 seres humanos del cuarto —y en Harvard se considera que un merolico es parco— indefinidamente mientras haya auditorio. Pero todo lo que dice es interesante. Su estilo es práctico y confrontativo. Duro y a la cabeza. Y los mini-Schrags no son personas que se dejen intimidar —no me había tocado ver la arrogancia harvardiana tan al desnudo, pero algunos de estos mini-Schrags juntan la arrogancia del dinero, con la de la inteligencia, con la de la juventud— y esa resistencia hace que Smil meta segunda. Abrió con algo así como que ya estaba harto de tantas conferencias, estudios, comisiones, protocolos, institutos de investigación y *papers*. Que de todo eso no sale nada porque no hay manera de que salga nada. Que mientras la gente no vea día con día los efectos de la escasez de petróleo o del calentamiento global, nadie va a hacer nada. Le contestan que cada vez es más eficiente el uso de energía. Que el foco que hace 20 años necesitaba 100 watts ahora funciona con 15. Contraataca diciendo que en efecto, ahora hay 10 focos de esos donde hace 20 años había uno. Y se sabe los números de memoria y hace rabiar a los harvardianos porque ellos no se los saben —o sabían, porque para la hora en que escribo esto ya tuvieron tiempo de estudiar—. ¿Quieren impresionar a la gente en su próxima reunión? Apréndanse estos números. ¿Cuánta energía se gasta por persona en África? Cinco gigajoules al año. En India, 10 GJ/año. En China, 40. El promedio mundial —lo que gasta el humano promedio, inexistente, porque cualquier persona gasta mucho menos o gasta mucho más— es de 65 GJ/año, el de Europa, 140; el de Estados Unidos, 360. (Y antes de hablar mal de los gringos, piensen que quienquiera que esté leyendo esto está más cerca de gastar 140 que 10. Ahora ya, hablen mal de los gringos.) Le preguntan que cuál es la mejor alternativa tecnológica que tenemos para enfrentar el problema energético. Ninguna, dice. La tecnología aparece muy lentamente, se tarda mucho en extenderse y mucho más en desaparecer. No hay manera, dice, de que cambiemos nuestras fuentes de energía en la escala que hace falta en el poco tiempo que tenemos para hacerlo. No hay manera de que, aun cuando hoy empezáramos a poner turbinas eólicas en todo el mundo, tuviéramos listas las líneas de transmisión de energía que hacen falta para llevar la electricidad a donde está la gente actualmente. Entre otras razones porque no hay manera de que la gente —los dueños de las granjas, casas, terrenos, ranchos— por donde tendrían que pasar esas líneas lo permita. (¿Se acuerdan del síndrome NIMBY? *Not in my back yard.* ¿O del NOPE? *Not on planet earth.*) Y establecer la infraestructura de esa nueva tecnología toma mucho tiempo, que no tenemos. Más adelante —ya en la tarde, ya en la conferencia, ya peleando con el propio Schrag— elabora más teóricamente y dice: *cada civilización es sólo la expresión de una forma de consumo de energía.* La nuestra es la que es. Hasta donde sea.

No se trata de contarles con detalle el libro de Smil. Así que tenemos que escoger el tema más cercano a nuestro corazón. Smil destaca cuatro productos de la química, entendida como la manipulación y síntesis de sustancias, que fueron desarrolladas en esos 30 años y que ayudaron a configurar el presente: el acero, el aluminio, los explosivos y el amoniaco. Desde luego, el acero tiene una historia antigua e ilustre:

> antitéticamente contenida en las elegantes formas y la destructiva potencia de las espadas de alta calidad cuidadosamente producidas en lugares de la antigüedad tan remotos como Damasco y Kioto. Pero no fue sino hasta que llegaron esas dos generaciones anteriores a la primera Guerra Mundial que el acero se volvió barato, su producción realmente masiva y su uso omnipresente. A diferencia de la electricidad, en donde invenciones técnicas fundamentales crearon una industria entera de la nada, la factura del acero era un negocio bien establecido antes de 1860 —pero un negocio dominado por las habilidades artesanales y, por tanto, inadecuado para la producción a gran escala y bajo precio que habría de convertirse en algo característico del final del siglo XIX [p. 155].

En la Era de la Sinergia se llevaron a cabo las optimizaciones clave del proceso que permitió su masificación:

> [U]n paso más era necesario para universalizar el proceso: retirar el fósforo del arrabio [así se llama el resultado de la primera etapa de fabricación de acero, nota del A.] y así poder usar los abundantes minerales que contienen ese elemento. [...] La idea fundamental no era nueva: había que emplear una sustancia básica que reaccionara con los óxidos ácidos de fósforo presentes en el hierro líquido y retirar el sobrenadante. La puesta en marcha de la idea tuvo que superar un gran número de problemas, que incluyen la preparación de recubrimientos básicos resistentes y el método para eliminar grandes volúmenes de sobrenadante. [...] luego de algunos años de experimentación [se] produjeron recubrimientos duros, densos y durables hechos con piedra caliza contaminada y sellada con una mezcla de alquitrán y caliza calcinada. Como el recubrimiento básico no es suficiente para neutralizar los compuestos de fósforo, [se] agregó cal al mineral original [p. 160].

La abundante oferta de acero resultado de la invención de este proceso permitió, entre otras cosas, la construcción de rascacielos cada vez más numerosos y más altos.

El segundo material característico de la época es el aluminio: resistente, ligero, abundante —es el tercer elemento en abundancia en la corteza terrestre, sólo debajo del oxígeno y el silicio—, maleable y magnífico

conductor eléctrico. El único problema para usarlo es que forma compuestos muy estables con oxígeno —óxidos, hidróxidos, fluoruros, sulfatos y silicatos— y nunca se encuentra en forma elemental. Descubierto apenas en 1808, hasta 1880 era una rareza —al hijo de Napoléon III le regalaron una sonaja de aluminio—. La invención del proceso que permite producir aluminio en cantidades industriales es una historia ejemplar de la simultaneidad de un descubrimiento científico:

> En 1886 Charles Martin Hall y Paul Louis Toussaint Héroult eran dos jóvenes químicos de la misma edad (ambos nacieron en 1863 y ambos murieron en 1914), que trabajaban sin relación entre sí en dos continentes (el primero en un pequeño pueblo de Ohio, el segundo en las afueras de París) y que encontraron soluciones prácticamente idénticas al problema [de reducir electroquímicamente el mineral] durante el invierno-primavera de 1886. Apenas dos años después, sus descubrimientos habían sido convertidos en empresas comerciales que producían aluminio electrolíticamente [p. 175].

Químicamente hablando, la clave del asunto consiste en volver conductor al óxido de aluminio, lo que se logra, a la fecha, disolviendo en criolita el doble fluoruro de sodio y aluminio (Na_3AlF_6). Sus patentes se registraron en Francia y Estados Unidos con diferencia de menos de tres meses. El mismo proceso se usa en la actualidad, con importantes mejoras en la eficiencia de la reacción que la han colocado cerca del límite termodinámico. No obstante, su producción requiere ingentes cantidades de energía —un orden de magnitud mayor que la producción de acero—. La abundancia de energía barata en los últimos 150 años, y las perspectivas inciertas acerca de la continuidad de ésta, nos obligan a especular acerca del futuro del proceso.

Como se sabe, Alfred Nobel inventó la dinamita en 1863,

> [hecha] del altamente poroso Kieselguhr, un mineral disponible en grandes cantidades a lo largo de la ribera del Elba y el Alster cerca de Hamburgo, a donde Nobel emigró proveniente de Suecia en 1865. El mineral es tierra de rocas sedimentarias —diatomita— formada por conchas de silicatos de diatomeas microscópicas unicelulares, protistas acúaticos que se encuentran en aguas dulces y de mar [...] La diatomita —que se usa también como aislante, como abrasivo en pulidores metálicos, como ingrediente en dentífricos [...] y como excipiente en papeles, pinturas y detergentes— puede absorber tres veces su masa de nitroglicerina [p. 184].

Las posibilidades abiertas por la invención de este explosivo —de nuevo, abundante y barato— han sido explotadas —en los dos sentidos de la palabra— en tal escala durante los últimos 150 años como para marcar la superficie terrestre y permitir que la huella de la humanidad se perciba desde el espacio exterior.

Finalmente, el invento químico de la Era de la Sinergia que más consecuencias ha tenido en la creación del presente es el proceso de Haber-Bosch, la síntesis de amoniaco a partir de sus elementos. Como lo enunció William Crookes en 1899:

> La fijación de nitrógeno es vital para el progreso de la humanidad civilizada. Otros descubrimientos nos proporcionan placeres intelectuales, lujos o comodidades; sirven para hacer más fácil la vida, para acelerar la adquisición de riquezas, o para ahorrar tiempo, esfuerzos y preocupaciones. La fijación de nitrógeno es un reto para poder alcanzar el futuro no muy lejano [p. 188].

En 1909, Haber inventó la síntesis de amoniaco combinando tres de los recursos más útiles de la química moderna: alta temperatura, alta presión y el empleo de catalizadores. La industrialización del proceso tomó menos de dos años.

Aproximadamente la mitad del nitrógeno contenido en los productos agrícolas proviene de fertilizantes sintéticos:

> A diferencia de la importancia de la electricidad o la de las máquinas de combustión interna en la sociedad moderna que es evidente, ni siquiera personas razonablemente bien educadas aprecian el papel esencial jugado por los fertilizantes nitrogenados, y la mayoría de los científicos desconocen el grado en que la civilización global depende de la síntesis de amoniaco de Haber-Bosch. La producción global de amoniaco casi se duplicó durante la década de los cincuenta, se cuadruplicó para 1975, y luego de un breve periodo de estancamiento a finales de los ochenta, alcanzó 130 millones de toneladas al año al final del siglo xx. A finales de los noventa, la producción global de amoniaco y ácido sulfúrico era casi idéntica, pero debido a la masa molar menor del amoniaco (17 *vs.* 98 para

H_2SO_4, el gas es la sustancia química más abundantemente sintetizada en términos de moles. [...] Si bien no es difícil construir escenarios plausibles de un mundo que eventualmente funcione sin dos de las principales características de la civilización moderna —máquinas de combustión interna y electricidad generada por la combustión de combustibles fósiles—, no hay sustituto posible para las proteínas en la alimentación cuya producción requiere el suministro adecuado de nitrógeno. En los años setenta, se pensó que sería posible trasladar las capacidades de fijación de nitrógeno de las leguminosas al trigo y el arroz, pero —como ocurre también con la fusión nuclear y los autos eléctricos— este objetivo no se ha alcanzado y nuestra dependencia en la síntesis de Haber-Bosch del amoniaco probablemente se extenderá más allá del siglo XXI; duradero legado de uno de los avances técnicos más importantes y menos apreciados de la Era de la Sinergia [pp. 194-197].

A lo largo del relato de Smil, hay todo tipo de historias: la de la idea que nunca pareció buena y acabó imponiéndose por buena o por otros factores; o la de la magnífica idea que nació para desgraciada y nunca vio su momento. La bicicleta es otra de las invenciones de la Era de la Sinergia. Los mismos mecánicos que la inventaron, contribuyeron a inventar a su principal enemigo, el automóvil. Así, la época de la bicicleta fue desplazada, antes de nacer, por la era del coche. Pero no sabemos lo que nos depare el destino. Bien puede ser, después de todo, que las proteínas nos duren más que el petróleo.

VII. EL AMBIENTE DE NUESTRO SIGLO

No nos cansamos de expresar nuestra admiración ante los portentosos acontecimientos de la modernidad. Es que, mire usted, de verdad que son impresionantes. Imaginemos la investigación en la que pretendemos averiguar cuántos homínidos —primates superiores más o menos identificables con el *homo sapiens*— han vivido en toda la historia. Luego, para cada época, habría que hacer la estimación de su esperanza de vida media, con el objetivo de calcular cuántos años humanos se han vivido en absoluto. El cálculo, hecho por algunos valientes demógrafos, apunta a que han nacido unos 80 000 millones de homínidos. Y que entre todos hemos vivido unos 2.16 millones de millones de años. Lo portentoso de la modernidad es que de ese montón de años humanos, el 28% se han vivido después de 1750 —poco más de un cuarto del total en los últimos dos siglos y medio—, que 20% desde 1900 —un quinto del total en el último siglo— y 13% después de 1950 —un octavo en menos de 60 años—, sin contar los años que vivieron antes de 1950 personas que aún están vivas. ¿Cuál es el precio ambiental de este portentoso crecimiento de la población humana? ¿Cómo hemos modificado el ambiente en el proceso de convertirnos en esta multitud? John R. McNeill, autor de *Algo nuevo bajo el sol: Una historia ambiental del mundo vigesí-*

mico[1] y profesor de historia en una universidad de Washington, no se plantea contestar estas preguntas en toda su posible amplitud, sino sólo en el sentido de los cambios que este portento ha producido desde el punto de vista del propio ser humano. Es decir, plantea la pregunta limitada de ¿cuáles han sido los efectos de la multiplicación de los humanos en el ambiente que sirve las necesidades de los mismos seres humanos? Además limita su estudio al siglo pasado. Límite que resulta ahora sí que académico, porque, como veremos, casi todo lo que le hemos hecho al ambiente se lo hemos hecho durante el siglo pasado.

Desde luego que el libro presenta ordenadamente las respuestas a su pregunta clasificando los efectos de la humanidad en el ambiente de la Tierra por capas, es decir, la litosfera, la hidrosfera, la atmósfera y la biosfera. Pero uno no sabe por dónde empezar. ¿Platicamos primero de los camiones de 60 toneladas que se usan en la actualidad en los procesos de minería a cielo abierto y que tienen el efecto de mover montañas? ¿Platicamos de los efectos de la contaminación atmosférica producida por actividades de la industria química que en su momento se vieron como imprescindibles para la viabilidad de una nación? ¿Platicamos de Thomas Midgley, el ingeniero químico a quien se le ocurrió la idea de echarle tetraetilo de plomo a las gasolinas y además inventó el freón, lo que lo hace el personaje de carne y hueso más cercano a un Lex Luthor —o C. M. Burns—? Ése es casi mi favorito, pero mejor veamos

---

[1] J. R. McNeill, *Something New Under the Sun: An Environmental History of the Twentieth-Century World*, W. W. Norton & Company, Nueva York, 2000.

el tratamiento que le hemos aplicado a las aguas en las obras de "plomería geológica", las obras humanas más grandes de la historia y con las causas inmediatas más importantes: las presas y los canales para domar el agua.

Para abrir boca considérese esta historia. El régimen de Mussolini en Italia fue el primero que quiso encontrar petróleo en Libia —pensando que le tenía que tocar petróleo libio a Italia, como le había tocado petróleo iraquí a Inglaterra—. En lugar de petróleo, encontró agua. Los primeros prospectores estadunidenses encontraron también agua. Y es que le habían atinado al Acuífero de Nubia, el más grande del mundo, con una extensión de más de dos millones de kilómetros cuadrados —área un poco mayor que la de todo México. Luego se encontró mucho petróleo en Libia, no tanto como agua, pero sí tanto que el dinero alcanzó para hacer el Gran Río: un sistema de pozos, bombas y tubos, construido en la década pasada, que transporta algo así como seis millones de metros cúbicos de agua al día —poco más del doble de lo que consume la ciudad de México— a lo largo de 1 000 kilómetros para llevarla a las ciudades libias del Mediterráneo. El acuífero está debajo del Sahara, así que no se recarga. Esta es una acción que promueve el crecimiento, toda vez que una de las consecuencias previsibles del suministro de agua a las ciudades libias del Mediterráneo será el aumento de su población. La situación no es sustentable: si un acuífero no se recarga, el agua se agotará tarde o temprano. Un *sustentabilista* encuentra en esto suficiente problema como para cuestionar semejante estrategia. Un economista más bien se queja de que el

Las consecuencias ambientales de Asuán tuvieron alcances regionales, desde Sudán hasta el Mediterráneo central. La Alta Presa de Asuán puede almacenar unos 150 kilómetros cúbicos de agua en el Lago Nasser, el equivalente a dos o tres años de flujo del Nilo, y cerca de 30 veces más que lo que la presa de 1934 contenía. Detuvo el 98% del cieno que anteriormente cubría la parte habitada de Egipto. Revolucionó la agricultura egipcia, al permitir el uso más sistemático del agua y dos o tres cosechas al año. Permitió el control total de las inundaciones, protegiendo la cosecha de algodón aun de las peores inundaciones. La producción de arroz, maíz y algodón —cosechas de verano todas ellas— floreció. El Nilo después de Asuán se convirtió en un canal de irrigación gigante, completamente dócil. Las turbinas de la presa alta generaron cerca de un tercio de la electricidad de Egipto entre 1977 y 1990. En estas medidas, la Alta Presa de Asuán cumplió las expectativas de Nasser, aunque no hizo de Egipto un país próspero e independiente. La presa aumentó, sin duda, la importancia de uno de los dos dones del Nilo.

Pero echó a perder el otro don. El subsidio etíope al suelo dejó de llegar después de 1963. Sin la capa de cieno fértil, la agricultura egipcia tuvo que depender fuertemente de los fertilizantes químicos, de cuyo consumo Egipto se volvió uno de los principales países en el mundo. La mayor parte de la electricidad generada en Asuán se emplea en la fabricación de fertilizante. La amenaza de la salinización se volvió también importante. Sin el lavado de la inundación anual, los suelos conservan más sales [p. 170].

El cieno con el que el Nilo insultaba —diría Borges— al Mediterráneo construyó el Delta. Éste ha perdido hasta 90 metros ante el mar cada año. Los nutrientes que llevaba el cieno dejaron de llegar al Mediterráneo y las sardinas y los camarones que vivían de ellos desaparecieron. Etcétera, etcétera. Pero de nuevo, gracias en parte a Asuán la población humana que sostiene Egipto se duplicó desde su construcción.

La historia ambiental del mundo en el siglo XX admite una división entre lo que ha pasado en los países industrializados y lo que está pasando en los países pobres. En muchas instancias —explotaciones mineras y madereras, usos de agua, industriales y pesqueros, prácticas de cultivo y de cría, contaminación de la atmósfera— la historia es semejante. Al inicio de ese siglo encontrábamos crecimiento exponencial de la actividad del caso en los países del primer mundo. Actividad que generó todo tipo de problemas ambientales: desde las crisis del humo de carbón en Londres, las crisis de contaminación del suelo con cobre y con cadmio en Japón, la eutroficación —exceso de nutrientes que tiene como efecto final la disminución del oxígeno en el agua y la muerte de casi todo ser vivo— de los cuerpos de agua en Japón (la Bahía de Minamata) y en el Mediterráneo, la contaminación por *smog* en Los Ángeles y Atenas, las lluvias ácidas en la cuenca del Ruhr, en el "triángulo sulfúrico" de Dresden, Praga y Cracovia, y en la región de los Grandes Lagos y Ohio —donde se incendió el río y "la lluvia ocasionalmente era más ácida que la Coca de dieta"—, hasta el agujero en la capa de ozono. Esta serie de crisis provocó modificaciones en las prácticas económicas que redujeron sustancialmente sus causas. Los éxitos —siempre parciales— en el control de daños dan sustento a la idea de que la ciencia y la tecnología vienen a nuestro rescate, con soluciones eficaces, cada vez que la actividad económica nos mete en líos y ella misma pide auxilio. En la historia detallada de estos eventos podemos ver cómo los distintos gobiernos de estos países del primer mundo se hicieron de la vista gorda ante el desastre, en aras de adquirir una posición adelantada en el desarrollo de la industria en cuestión, lo que les permitió establecer y consolidar el dominio del mercado que habrían de explotar entonces y hasta ahora. Como si calcularan que cualquiera de estos problemas serían sacrificios aceptables en el camino del desarrollo. Alcanzada una posición de liderazgo se pudieron enfrentar algunos de aquellos problemas. Y en casi todas las instancias la situación actual ha mejorado.

En contraposición, los países del Tercer Mundo no padecieron mayores problemas ecológicos en la primera mitad del siglo XX, pero mientras que los problemas del primer mundo se resolvían, los del tercero se agravaban. La lista es semejante, con el mismo tipo de problemas, pero en sociedades menos organizadas y menos abiertas y acerca de las cuales no hay tanta información. Las soluciones mágicas que ofreció la tecnología no se aplican en estos casos con la misma eficiencia. Y el tamaño del problema, conforme pasa el tiempo y la escala de la actividad económica aumenta de acuerdo con la doctrina del crecimiento ininterrumpido, es cada vez más grande.

Una corriente de pensamiento económico merece

mención. Hospedada en el Tercer Mundo, sugiere que las noticias de nuestra aproximación a los límites de lo que la Tierra puede ofrecernos —energía, agua, suelo para cultivo y cría, cambio climático— es sólo el nuevo artificio del primer mundo para mantener su ventaja. Como todas las buenas teorías del complot, suena posible.

La mano invisible del mercado goza de mucho prestigio. Y es que, cuando funciona, se lo merece. En la historia de los usos energéticos de la humanidad durante el siglo XX tenemos una situación interesante. Como se sabe, el petróleo remplazó al carbón como el principal combustible fósil de la vida moderna entre 1910 y 1950 —el periodo inicia con la famosa iniciativa de Churchill de convertir toda la flota inglesa, la flota imperial de la época, de carbón a petróleo— a pesar de que la producción de carbón gozaba de cabal salud, particularmente en Inglaterra. La explicación favorita en la actualidad es que, en ese momento, el petróleo presentaba ventajas económicas —además de sus ventajas tecnológicas—. Ante los altos precios del petróleo que, según los que comparten mi opinión, son causados por su actual escasez, ¿cabe esperar un resurgimiento del uso del carbón? ¿Lo podemos predecir viendo los precios de los combustibles fósiles? Resulta que el cálculo de los precios relativos de los combustibles es muy complicado. En principio, uno puede emplear los valores de contenido energético de los distintos combustibles: 30 GJ/ton para el carbón, 45 GJ/ton para el petróleo y 50 GJ/ton para el gas. Con la incertidumbre de las conversiones necesarias —la densidad del petróleo y del gas varían mucho dependiendo de su procedencia, por ejemplo, y el contenido energético nominal se puede extraer con rendimientos distintos en la producción de electricidad que en la producción de movimiento—, mis cálculos* dicen que el carbón cuesta menos de 2 USD/GJ, mientras que el gas cuesta por ahí de 7 USD/GJ y el petróleo 14 USD/GJ. Las diferencias son notables. ¿Cuánto hace falta para que veamos una migración hacia el carbón? ¿La migración hacia el gas que hemos visto en los últimos años es motivada por los altos precios del petróleo? ¿Cuánto se tarda la mano invisible en hacer su truco?** ¿El calentamiento global servirá como la invisible mano izquierda que detendrá lo que hace la otra mano?

La tentación de la racionalidad es encontrar causas, de preferencia sencillas, a los fenómenos que estudiamos. El recuento de McNeill no deja duda del aceleradísimo cambio ambiental al que las actividades humanas están sometiendo la Tierra. Y no deja duda de la fatal temporalidad de estas prácticas: es imposible que el crecimiento ininterrumpido continúe indefinidamente. De todas maneras la racionalidad quiere causas. McNeill hace el recuento de las tres que se han ofrecido solas y en combinación: el aumento poblacional, el aumento en el consumo y la integración o globalización de la economía. Ninguna de ellas explica por sí sola nuestra situación. Las cuentas son del estilo de la siguiente: entre 1900 y 1990 la población aumentó cuatro veces, mientras que el consumo de agua aumentó nueve veces, así que el aumento poblacional es responsable de sólo 44% del aumento. El caso del consumo es ilustrado por los coches, de nuevo en el periodo en el que la humanidad aumentó su volumen en un factor de cuatro, el número de coches aumentó en un factor de 10 000. Finalmente la integración permite que cuando se pone de moda el polvo de cuerno de rinoceronte en el Oriente, basten 20 años para diezmar 20 veces —dejar uno de cada 10— los rinocerontes en África. Pero juntas, las tres causas hacen un coctel explosivo. Ahí la racionalidad nos indica claramente qué hacer: disminuir el número de personas, disminuir el consumo, fomentar la desespecialización.

No hay iglesia sin herejes. Y si definimos vagamente al pensamiento de izquierda como el que fatalmente se opone al *statu quo,* no hay izquierda sin divisionismo. Así, la gente que está preocupada por las consecuencias del crecimiento sostenido pertenece a sectas distintas que con frecuencia agarran una buena bronca entre ellas. Los miembros de la iglesia del cambio climático están de plácemes porque parece que sus consecuencias empiezan a convencer al *mainstream* —¿empiezan a transversalizarse?— y el "debate" está ganado, Gore es famoso* y Di Caprio está de nuestro lado. Por otro lado, los *peakoilers* —ahora también llamados *peakniks*— ganan terreno día a día conforme el barril de petróleo se dispara por encima de la marca, psicológicamente importantísima, de los 100 dólares. Sin embargo, ocurre con frecuencia que un *calientólogo* deseche la opinión de un *peakoiler* con los mismos argumentos —o falta de ellos— que usa el petrolero de la trasnacional más interesada. Y no me sorprendería encontrarme entre los *peakoilers* algunos que no crean en el cambio climático. Interesantemente, la mesurada y cuidadosísima presentación de hechos, datos y teorías de McNeill en su libro —y que le valió el comentario en la solapa de *refrescantemente poco polémico*— toma posición frente al problema de la escasez de energía. McNeill parece pertenecer a la iglesia del "ya se les ocurrirá algo a los científicos para rescatarnos" cuando dice: "Mi interpretación de la historia moderna sugiere que lo más sensato que podemos hacer es acelerar la llegada de un nuevo régimen de energía más limpia" (p. 359).

---

* El petróleo cuesta 90 dólares por barril de 160 litros de 0.9 kg/l de densidad de 45 GJ por tonelada. El gas cuesta siete dólares por millón de BTU. Y el carbón 45 dólares por tonelada corta con 12500 BTU por libra.

** ¿Cuántos economistas se necesitan para cambiar un foco? Ninguno. Esperan a que lo cambie la mano invisible.

* Tiene Oscar, Nobel y Príncipe de Asturias. No acabo de creer el rumor de que está nominado para el Cy Young, pero eso es sólo porque no quiero que se lo gane a ningún Indio de Cleveland.

¿De dónde vamos a sacar el equivalente a los 200 millones de barriles de petróleo diarios que consumimos en la actualidad? Como a todo izquierdista me desespera la dificultad de hacer ver a la gente la obviedad de mi persuasión. McNeill nos recuerda, con una buena dosis de ironía, el origen de la desmesurada idea del crecimiento ininterrumpido que, increíblemente, ha sido la ortodoxia de los últimos 100 años —Robert Solow, premio Nobel de economía, llegó a decir que "el mundo puede, en efecto, funcionar sin recursos materiales". ¿Cómo se puede sostener que en un mundo de recursos finitos el crecimiento ininterrumpido es posible? En rumbos de la lógica, demostrar que una

aseveración es cierta es muy difícil, ya que rara vez hay certeza de cubrir todos los casos posibles; en cambio, demostrar que una aseveración es falsa sólo requiere encontrar un ejemplo que la desmienta. No hay duda de que nuestras actividades están influyendo en los parámetros que determinan el clima de la Tierra, no hay duda de que nuestras actividades están consumiendo los combustibles fósiles que tardaron millones de años en producirse, no hay duda de que nuestras actividades están acabando con el agua de los acuíferos, con los peces en el mar, con los rendimientos de la tierra, etcétera. ¿Por qué no estamos modificando ya, a toda velocidad, nuestros hábitos, para atenuar todas esas tendencias? ¿De dónde sale esa tendencia a creer que el mundo es infinito?

¡Ah! Y Midgley. En efecto, él hizo posibles los motores de alta compresión para autos y aviones al emplear el tetraetilo de plomo —quizás el peor contaminante de la atmósfera y del suelo, por la escala en que se usó— en las gasolinas. Y luego inventó el freón —triclorofluorometano y diclorodifluorometano— que se empleó como fluido de trabajo en los refrigeradores y que fue el primero de los CFC que estaban acabando con la capa de ozono. Su tercer invento notable lo motivó su salud personal. Habiendo enfermado de polio en 1940, inventó un sistema de poleas y cuerdas que lo ayudaban a acostarse y levantarse. Un día de 1944 fue hallado, en suspensión sobre la cama, estrangulado por su invento.

Cuesta trabajo resistir la tentación de encontrar en el fin de Midgley una moraleja. Pero después de todo, Midgley sólo fue un hombre de su tiempo; como todos nosotros, jugó con las cartas que le dio su individual e irrepetible circunstancia. No fue el dueño del capital, sino sólo un ingeniero muy exitoso. No fue como Onassis, responsable directo, por puro afán de lucro, de la merma en los números de ballenas en la década de los cincuenta,* o como el golpista general Suharto en Indonesia quien, ante la sospecha de que otro golpista lo esperaba en el futuro, se apresuró a "realizar" el botín de los bosques indonesios logrando reducirlos a la mitad para cuando fueron alcanzados por los incendios de 1998. Los responsables están ahí, "fatigando la infamia". Y todavía peor, como dice Éric Assadourian que dijo Utah Phillips: "La Tierra no está muriendo. La están matando, y quienes la están matando tienen nombres y direcciones". Los Midgleys, los Onassis, los Suhartos, pero también los miles de millones de personas comunes y corrientes que hacemos lo que en nuestra individual e irrepetible circunstancia nos parece lo normal.

---

* ¿Cómo se pudo casar Jackie con él?

VIII. LOS POLÍTICOS VERDES DE VERDAD

HERMANN SCHEER es un diputado alemán. En una clara diferencia con los diputados del partido verde de mi tierra, tiene un doctorado en economía. En otra clara diferencia, fue nombrado por la revista *Time* —que, desde luego, es sólo una revista, pero ya ven que ahora los nombramientos de algunas de esas revistas tienen mucho prestigio— "Héroe del siglo verde". Y para acabar de una vez por todas con la posibilidad de parecerse a mis políticos, escribió *Autonomía energética. La situación económica, social y tecnológica de la energía renovable.*[1] En estos días anda en el circuito universitario de conferencias presentando éste, su segundo libro, que acaba de ser traducido al inglés. No es un conferencista extraordinariamente brillante, que es la moneda corriente en Harvard, quizá porque el inglés no es su lengua materna —o porque está dentro del conjunto definido por George Bernard Shaw en "nadie que tenga un gran conocimiento de su propio idioma puede dominar otro"—, pero tiene esa característica, deseable en el político, de la emoción. O sea, el hombre se va calentando conforme habla y al rato ya está cias prohibidas. Así, resultó relativamente fácil encontrar un acuerdo aceptable para todas las partes, con previsiones "buena onda" para los países subdesarrollados, y que resultó, como sabemos, en el premio Nobel para Molina, Rowland y Crutzen y en la regeneración, en proceso actualmente, de la capa de ozono. Historia exitosa.

---

[1] H. Scheer, *Energy Autonomy: The Economic, Social and Technological Case for Renewable Energy,* Earthscan, Londres, 2007. (Traducción del original alemán *Energieautonomie: Eine neue Politik für erneuerbare Energien;* versión en español publicada por Icaria, 2009.)

Otro cantar ha sido el acuerdo para la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero. Como se sabe, las actividades humanas en la escala de la población actual han contribuido al aumento de la concentración en la atmósfera de tres gases: dióxido de carbono, metano y óxido nitroso. Estos gases tienen la particularidad de absorber la radiación infrarroja que, al ser emitida por la Tierra hacia el espacio, mantiene el equilibrio térmico con la radiación solar que llega en forma de luz visible. Como los gases absorben la radiación e impiden que salga al espacio, ésta se queda en la atmósfera, generando un aumento en la temperatura. Por ejemplo, la concentración de dióxido de carbono ha pasado de unas 360 partes por millón a 380 partes por millón en los últimos 10 años —era de 310 partes por millón en 1960—. Este aumento de concentración proviene de un aumento en la producción de dióxido de carbono principalmente por la combustión. A mediados de la década de los noventa se generaban unas 6 000 millones de toneladas por año y ahora se generan unas 6 500 millones —en 1960 se generaban unas 2 000 millones—. El protocolo de Kioto, de llevarse a cabo con éxito, lograría que en los próximos cinco años regresáramos a la generación de dióxido de carbono que teníamos hace 10 años. Es decir, el protocolo de Kioto no resuelve ni siquiera el problema de la generación de CO_2, y todavía faltan el metano y el óxido nitroso. Pero tampoco se va a poder poner en marcha con éxito. Como se sabe, cuando menos dos países importantes —Estados Unidos y Australia— se han negado a firmar el protocolo. Scheer argumenta que no tenemos un acuerdo realmente útil al respecto porque no estamos dispuestos a prescindir de las funciones que se realizan con el combustible que quemamos. Y porque no tenemos disponible la tecnología limpia para sustituir la tecnología de combustión. En buena medida, gracias a los esfuerzos de las compañías energéticas del orden actual.

La tercera es la convicción de Scheer acerca de la factibilidad de una transición mundial al uso de energía renovable. Toda la tecnología asociada tiene un enorme potencial de desarrollo pero, aún imperfecta como es actualmente, puede servir para sacudirnos la dependencia de los combustibles fósiles. Scheer recomienda incluso que adoptemos esa tecnología en lugares que no son óptimos para su aplicación: celdas solares a latitudes altas, turbinas eólicas en donde no sopla permanentemente el viento. Lo que ganamos descentralizando y deteniendo los efectos de la combustión es más que lo que invertimos en capital. El único obstáculo que reconoce es el poder de la industria energética actual que ha presionado, con éxito hasta el momento, por detener estos desarrollos.

Finalmente, cabe mencionar que en una discusión amplia acerca del estado mundial de la generación de cio; se estudió y polemizó su concentración y su localización en la atmósfera. Se estudió y polemizó la magnitud del aumento de la temperatura media del planeta y sus posibles efectos. Etcétera. El estado actual de esos estudios y polémicas es variado y su descripción se puede encontrar en diversas obras recientes. William F. Ruddiman, en *Arados, plagas y petróleo: cómo los humanos se apropiaron del clima,*[1] se centra en un aspecto específico: la antropogenecidad del aumento de la concentración de estos gases en la atmósfera.

La idea establecida al respecto es que con la Revolución industrial se inició el proceso de acumulación de los llamados "gases invernadero" en la atmósfera como producto de las cada vez más intensas actividades humanas, particularmente el consumo de combustibles fósiles —carbón, petróleo— y la intensificación de la producción agropecuaria —con la extensión de la superficie ocupada y la destrucción de la biomasa original asociadas—. La evidencia en apoyo de esta hipótesis es abrumadora: existen registros indirectos y directos —que coinciden con extraordinaria precisión— de la concentración de estos gases en la atmósfera que muestran un incremento casi exponencial en los últimos 250 años. Por ejemplo, las medidas indirectas del CO_2 atmosférico en los núcleos de hielo polar, revelan que en 1750 había unas 280 ppm que se volvieron 290 ppm en 1850 y 320 ppm en 1950 para llegar a 370 ppm en 2000 (las últimas dos cifras confirmadas por mediciones instrumentales). Así, la idea establecida dice que en los últimos 250 años las actividades humanas han modificado las condiciones naturales del clima en la Tierra.

Ruddiman propone, argumenta y defiende una hipótesis novedosa: el efecto de las actividades humanas en el clima de la Tierra ha sido importante no sólo en los últimos 250 años, sino en los últimos 10 000, es decir, desde el inicio de la agricultura. En un libro que se lee como un *paper* muy extenso, Ruddiman presenta, por un lado, los mecanismos que modifican el clima de la Tierra de manera natural —la inclinación del eje terrestre, la actividad solar, la concentración de gases en la atmósfera terrestre, la fracción de recubrimiento de la superficie terrestre por hielo, etcétera— y calcula, por el otro, la magnitud de la liberación de gases invernadero por las actividades humanas en los últimos 10 000 años. Su conclusión es radical: *las actividades humanas han retrasado, si no es que evitado por completo, una glaciación.*

Su hipótesis ha sido publicada en las revistas científicas más serias y más difundidas, y ha sido leída y analizada con todo detalle. Así, Ruddiman aprovecha para presentar las objeciones que se le han hecho y las réplicas correspondientes, de tal manera que la hipótesis es muy sólida. Ahora, ¿qué importancia tiene este descubrimiento? Algunos de los involucrados en los aspectos políticos de la discusión del cambio climático —siempre miopes, como todos los que están interesados en los aspectos políticos, porque estos últimos son necesariamente de corto plazo— ven este resultado como evidencia de que la industrialización y la modernidad no han sido tan malas y que podemos seguir por ese camino. Quizá una mejor forma de verlo es como la evidencia de que la humanidad, en cuanto se separó significativamente de las conductas comunes del resto de los seres vivos, ha afectado el entorno global, es decir, que en la esencia de la humanidad está nuestro carácter de plaga para la Tierra.

---

[1] W. F. Ruddiman, *Plows, Plagues, and Petroleum: How Humans Took Control of Climate,* Princeton University Press, Nueva Jersey, 2005.

Desde luego, los problemas que enfrenta la continuación de la forma de vida moderna de la humanidad en estos tiempos no se reducen al calentamiento global. *Le tocaron, como a todos los hombres, malos tiempos para vivir,* escribió Borges. Nuestra civilización no se ve amenazada por el calentamiento global *per se*. Ni el par de grados centígrados de calentamiento que se pronostican para este siglo, ni el par de decímetros de aumento del nivel del mar, ni el incremento de la intensidad de las tormentas, ni la detención de la corriente del Golfo, ni la modificación de los patrones climáticos acabarán con la humanidad. Pero hay amenazas más severas. La disponibilidad de agua, la disponibilidad de energía —la imposibilidad de incrementar la producción de petróleo ante la demanda exponencialmente creciente—, la reducción de la superficie cultivable —la erosión de la capa de nutrientes—, son amenazas mucho más serias e inmediatas. Ruddiman, como buen científico, contempla su descubrimiento en ese contexto más general y, como todos nosotros, trata de encontrarle un lado bueno a nuestra situación actual.

La plaga no se va a erradicar, pero ciertamente se va a reducir a dimensiones semejantes a las de tantas otras plagas. Nuestro futuro como especie no está en riesgo, sospecho, lo que tendremos que determinar es nuestro futuro como sociedad y como cultura.

X. BARBAS A REMOJAR

LA HISTORIA es bastante directa. La pradera donde pastó el búfalo fue colonizada —la civilización moderna es una cosa de blancos, dice un personaje en *Queimada,* de Pontecorvo— durante el siglo XIX, y el búfalo y los comanches fueron sustituidos por vacas y *cowboys* —el Rancho XIT tenía 150 000 cabezas de ganado y 1 200 kilómetros de alambradas (el alambre de púas se inventó en 1874)— en 1887. La pradera y sus pastizales formaron el ecosistema más grande de Norteamérica, con excepción del bosque boreal, con cobertura de 21% del área de Estados Unidos y Canadá actuales. En Texas, tan sólo, el ecosistema tenía 470 especies nativas. Pero, durante la segunda década del siglo XX, la presión demográfica y el destino manifiesto y el automóvil y los tractores y los fertilizantes modificaron una vez más el equilibrio económico y las vacas y los *cowboys* fueron sustituidos por agricultores con la misión de producir trigo y maíz. En la zona de las grandes praderas, la *Homestead Act* de 1862 fue modificada a principios del siglo XX para proporcionar 260 hectáreas por familia —o el doble si se invertía en irrigación—. La zona que nos interesa para este remojo de barbas es la llamada *vasija de polvo —dust bowl—*, una zona de 250 km de ancho por 300 de altura en la frontera entre los estados de Nebraska, Colorado, Kansas, Nuevo México, Texas y Oklahoma. Esa zona produjo cantidades récord de maíz y trigo durante los años veinte. En coincidencia con buenos precios del grano en el mercado internacional, se generó una fiebre del oro agrícola y se crearon pueblos de la noche a la mañana.

Y luego llegaron la depresión y la sequía.

La historia la cuenta Timothy Egan en *Los tiempos más difíciles,*[1] y está basada en una investigación periodística cabal que incluye entrevistas detalladas con los pocos testigos presenciales aún vivos —adolescentes en la época, de 80 años en la actualidad—, consulta de archivos oficiales, diarios, fotografías, periódicos. Y su narrativa es emocionante. Las historias son una sucesión de desgracias. Primero, baja el precio del trigo y el maíz. Después, empieza la sequía. Y luego vienen las plagas: primero los banqueros, luego las tormentas de polvo y finalmente las langostas y grillos. La gente muere de silicosis. Los asentamientos se vuelven pueblos fantasma. Unos cuantos héroes deciden quedarse. Hay migraciones masivas.

Ahora sabemos que la solución, finamente balanceada, dispuesta por el azar de la evolución a lo largo de miles de años para esa zona geográfica incluye indispensablemente al pastizal, vegetación con raíces suficientemente intrincadas como para mantener la tierra —y sus nutrientes— en su lugar incluso frente a los vientos permanentes y las sequías recurrentes. Al retirar ese pastizal y remplazarlo por un cultivo que pierde toda raíz cada año, el suelo voló.

---

[1] T. Egan, *The Worst Hard Time: The Untold Story of Those Who Survived the Great American Dust Bowl,* Houghton Mifflin Co., Boston, 2006.

Las tormentas de polvo son el fenómeno característico del lugar y de la época, con dos puntos álgidos. Las dos tormentas que alcanzaron a cubrir todo el este de los Estados Unidos y que ennegrecieron el cielo de Washington y Nueva York, y la tormenta del *Domingo Negro,* el 14 de abril de 1935. La imágenes fotográficas de esa tormenta son apocalípticas.

El evento del *Dust Bowl* o "la Vasija de Polvo" es un desastre ecológico producido por la fiebre civilizatoria de "siempre más". Pero a fin de cuentas, es un desastre ecológico limitado a una zona en una época con la vida menos globalizada que en la actualidad. Una de sus enseñanzas acerca de la naturaleza humana es nuestra capacidad para la solidaridad, que es muy poca. En California los letreros que le daban la bienvenida a los migrantes provenientes de la Vasija de Polvo decían: "Se prohíbe la entrada a perros y Okies" (Okies porque venían de Oklahoma). No hay muchas razones para sorprenderse; durante la recesión, "en el sur y en algunos lugares del norte, había letreros en los sitios de trabajo que decían, 'no hay trabajo para negros —*niggers*— hasta que todos los blancos estén empleados'" (p. 227). Pero la discriminación agarra parejo:

> Otros creían que los colonos de las praderas del sur eran simplemente demasiado tontos, genéticamente débiles, demasiado necios para merecer ayuda. "Para decirlo claramente, por el inescrutable designio divino, son inferiores", escribió H. L. Mencken, uno de los más influyentes periodistas del país. Lo mejor que se puede hacer con ellos es esterilizarlos, dijo [p. 227].

La otra enseñanza es la capacidad de recuperación y restauración que tiene un gobierno poderoso.

Hay una especie de paladín ecológico en esta historia. Hugh Bennett fue un funcionario con inclinaciones científicas y una preocupación permanente por la erosión de las tierras de cultivo. Como director de la Agencia de Conservación durante el gobierno de Roosevelt, dirigió el esfuerzo por mitigar el desastre de la Vasija. La chamba requería, como todas las chambas de restauración, desviar dinero escaso hacia una actividad que no es directamente productiva convenciendo a diversos políticos —lo mismo que hay que hacer ahora para el protocolo de Kioto, sus extensiones, las fuentes renovables de energía, etcétera. Nadie, dicen sus contemporáneos, lo podía hacer mejor, ya que Bennett "combined science with showmanship". Y mucha suerte:

> Bennett tenía programada otra presentación ante el Senado a mitad de la semana. Luego de checar el avance de la tormenta de polvo, pidió una posposición. La tormenta que había alcanzado Nueva York y Washington el año anterior había alarmado a los políticos. Bennett se lo comentó así a un empleado: "Cuando la gente en las ciudades del Este comience a masticar el suelo de las praderas a 3 000 kilómetros de distancia, muchos de ellos van a darse cuenta por fin de que en algún lado, algo muy malo está pasando con la tierra".
>
> Y quería que la volvieran a probar. El viernes 19 de abril, cinco días después del Domingo Negro, Bennett entró en el salón 333 del edificio de oficinas del Senado. Empezó con los cuadros, los mapas, las historias de lo que la conservación de la tierra es capaz de hacer, y con un reporte acerca del Domingo Negro. Los senadores oían, pero algunos no podían ocultar su aburrimiento. Alguien le dijo a Bennett, "ya viene".
>
> Esto motivó una larga digresión, que incluyó a Plinio y Jefferson. Unas bromas acerca de su propia granja y de lo difícil que era mantenerla. "Un ratito más", le dijo el ayudante, "no tarda más de una hora".
>
> Bennett les contó cómo había aprendido de joven acerca del cultivo por terrazas, y cómo su padre usaba ese método, al igual que todos los granjeros en Carolina del Norte. Por cierto, ¿había mencionado ya que una pulgada de tierra con nutrientes puede desaparecer en una hora, pero toma 1 000 años para restituirse? Piensen en eso. Un senador que veía por la ventana interrumpió a Bennett: "Ya está oscureciendo".
>
> Los senadores se acercaron a la ventana. A mitad de la tarde en pleno abril estaba oscureciendo. El sol desapareció. El aire se tiñó de un color cobrizo conforme la luz atravesaba la nube de polvo. Por segunda vez en dos años, la tierra de las praderas caía en la capital. "A esto me refiero", dijo Bennett. "Ahí va Oklahoma."
>
> En menos de un día, Bennett tuvo su dinero y una agencia permanente para restaurar y mantener en buenas condiciones la tierra [p. 228].

El gobierno compró la tierra que había regalado 30 años antes:

> [P]agaba 2.75 dólares por acre para recuperar un rancho. Parece poco, pero no que hubiera mejores ofertas. Una persona con media sección recibía 880 dólares por la venta de la tierra y podía empezar de nuevo. En esa tierra, quizá, crecería de nuevo el pasto, o se volvería un desierto. En todo caso, iba a descansar [p. 256]
>
> [...]
>
> Las praderas nunca se recuperaron del todo en la Vasija de Polvo. Al finalizar la década de los treinta, la tierra quedó dañada y alterada para siempre, pero en algunas zonas se recuperó. En total, el gobierno compró seis millones de hectáreas de antiguos campos agrícolas e intentó reconvertirlos en pastizales. La intención original era comprar 35 millones de hectáreas. Luego de más de 65 años, parte de la tierra todavía es estéril y volátil [p. 309].

En zonas ecológicamente equivalentes se construyen y habilitan actualmente mansiones con pastos manicurados y campos de golf.

Barbas a remojar.

XI. MEDIDAS DE DESIGUALDAD

Parados en el positivismo más trasnochado y recalcitrante nos proponemos, como Ortega y Gasset,* "tratar de encontrar lo que son las cosas, nos gusten o no". O al menos eso es lo que se propone Branko Milanovic en su libro *Mundos aparte: la medida de la desigualdad internacional y global.*[1] Las cosas que quiere encontrar tal cual son se refieren a la desigualdad económica entre naciones a lo largo de la historia y en particular en las dos últimas décadas. En buena medida porque el debate acerca de este asunto es intenso: los defensores del progreso-libre mercado-neoliberalismo sostienen que las desigualdades económicas se han ido reduciendo, mientras que sus detractores sostienen lo contrario. ¿Qué sabemos bien a bien? ¿Qué podemos saber bien a bien?

El principal problema es que la información de la que disponemos es incompleta. Tradicionalmente, hemos basado estos estudios en los valores del producto interno bruto (PIB). Pero no todos los países tienen registros históricos de esta variable macroeconómica. Y esta variable no es necesariamente comparable a lo largo del tiempo —debido a la inflación— o entre distintos países —debido al diferente poder adquisitivo regional—. Así que lo que se propone Milanovic en este libro es atender dos problemas: recolectar la mayor cantidad posible de información —si multiplicamos el número de años del presente estudio por el número de países en el mundo salen 7038 entradas; Milanovic reunió datos para llenar 6149 de ellas— y discutir los méritos y los resultados de distintas formas de calcular la desigualdad. Empecemos con este último problema. Por el momento convengamos en emplear el índice de Gini como la medida de la desigualdad. A reserva de que más adelante presentemos su definición precisa, baste por lo pronto saber que el índice de Gini está normalizado entre los valores cero —igualdad absoluta, todo el mundo tiene el mismo ingreso— y uno —desigualdad absoluta, un solo miembro del conjunto concentra todo el ingreso—. El primer problema es, entonces, ¿cómo medimos el índice de Gini entre países?

---

* José Ortega y Gasset, *Una interpretación de la historia universal.* Citado en el libro de Milanovic, p. 31.

[1] B. Milanovic, *Worlds Apart: Measuring International and Global Inequality,* Princeton University Press, Nueva Jersey, 2005.

La primera forma de hacerlo es con lo que Milanovic llama el concepto 1, que aparentemente es el más usado. Consiste en calcular el índice de Gini a partir del producto interno bruto per cápita de cada país. Así, Luxemburgo, con un ingreso per cápita de más de 80 kilodólares es una entrada en el cálculo del índice de Gini, lo mismo que India con un ingreso per cápita de 705 dólares. Dice Milanovic:

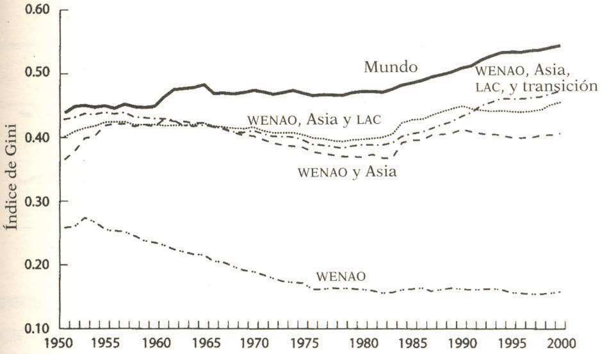
> [Este concepto] es una especie de Asamblea General de la ONU en la que cada país, grande o pequeño, cuenta lo mismo. Imagínese un mundo poblado con embajadores de los 200 países, cada uno de los cuales carga un letrero en el que está escrito el PIB per cápita de su país. Estos embajadores hacen una fila del más pobre al más rico, y se calcula un índice de desigualdad entre ellos. Desde luego, ésta es una medida de la desigualdad internacional, ya que se comparan países. Pero no está ponderada, ya que cada país cuenta lo mismo. El concepto 1 no es una medida de la desigualdad entre los ciudadanos del mundo [p. 7].

El concepto 2 es una ligera variante del anterior. En lugar de mandar un embajador por país, mandemos una delegación de tamaño proporcional a su población. Y luego calculemos el índice de Gini con todos los delegados. Ahora Luxemburgo no influye tanto en la desigualdad global, que está fuertemente determinada por China e India. Desde luego que ésta es una medida más descriptiva de la desigualdad en el mundo, pero aún no es perfecta. Porque supone que dentro de un país, todos los habitantes tienen el mismo ingreso. Así como antes Luxemburgo e India pesaban lo mismo, ahora Slim y la señora que vende quesadillas en la esquina pesan igual.

El concepto 3 trata de corregir esta última deficiencia. Ahora lo que se pretende es calcular el índice de Gini formando a *todos los seres humanos* e incluyéndolos con su ingreso real. El problema es que hacer esto es prácticamente imposible ya que no tenemos datos del ingreso de 6700 millones de personas. Pero podemos pedir la ayuda de la estadística. Si hacemos un muestreo talentoso —principalmente a través de encuestas domiciliarias— podremos confiar en la extrapolación del índice calculado.

que sólo un individuo tiene todos los bienes —una recta sobre el eje X y un punto en (100%,100%)—, para la que el Gini vale el doble del área del triángulo inferior, o sea el área de todo el cuadrado, o sea uno —10 000 en porcentaje, pero uno en valor absoluto—. El índice de Gini va, pues de cero a uno; cero corresponde a la máxima igualdad y uno corresponde a la máxima desigualdad.

Milanovic calcula los índices de Gini para los tres conceptos —promedio por país, promedio por país ponderado por la población y promedio por individuo—, los compara y los analiza. El primer Gini dice básicamente que entre 1950 y 2000 la desigualdad entre los países del mundo ha crecido uniformemente. Entre 1965 y 1982, sin embargo, el cambio fue casi inapreciable —de 46.9 a 47.3—, mientras que de 1982 a la fecha creció hasta llegar a 54.5. La siguiente pregunta es ¿a qué se debe el incremento en la desigualdad entre países? Eso se puede ver con más detalle si se segregan las contribuciones de las diferentes regiones, como en la gráfica XI.2 (p. 42 del libro de Milanovic).* Entre los países ricos la desigualdad ha disminuido apreciablemente. Cuando se incluyen los países asiáticos, la desigualdad —mucho mayor— disminuye marginalmente a lo largo del periodo, acelerando esa disminución en los últimos años con la explosión de la economía de China e India.** Al añadir Latinoamérica y el Caribe (LAC) la desigualdad aumenta y su tendencia en el periodo es hacia el aumento, particularmente en la llamada *década perdida* de los ochenta-noventa. Finalmente, en los noventa se puede observar otra contribución al aumento de la desigualdad al añadir la contribución de los "países emergentes" ex socialistas.



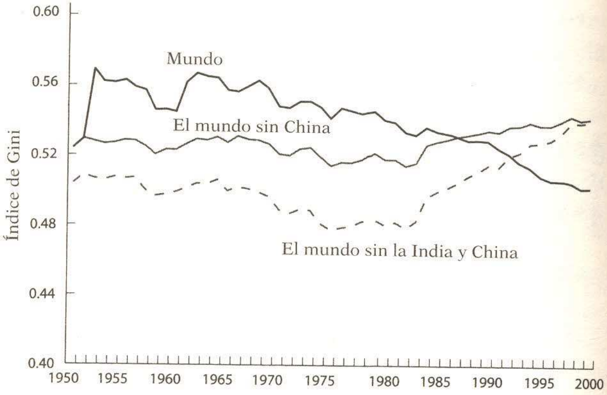
GRÁFICA XI.2. *Evolución del índice de Gini en los últimos 50 años para distintos grupos de países del mundo, dentro del concepto 1.*

La desigualdad del concepto 2, es decir, el índice de Gini promedio por país pesado por su población se muestra en la gráfica XI.3 (p. 87 del libro de Milanovic). Ahí se ve que éste ¡decrece! Uniformemente desde mediados de los sesenta y más pronunciadamente a partir de la mitad de los ochenta. Pero la segregación por regiones permite ver el origen de esta disminución. Si retiramos la contribución de China al índice de Gini, éste es casi constante, y si le quitamos la contribución

---

* En la gráfica, WENAO significa West Europe, North America and Oceania. Es el club de los países ricos. Sin colados como en la OCDE.

** Ahora le quieren decir Chindia a la suma de China e India, en vez de la familiar Indochina.



GRÁFICA XI.3. *Evolución del índice de Gini en los últimos 50 años para distintos grupos de países del mundo, dentro del concepto 2, es decir, al incluir la ponderación por la población de cada país.*

de India el índice aumenta, particularmente en dos décadas de neoliberalismo desatado. En otras palabras, el índice de desigualdad ponderado por la población ha disminuido en los últimos años debido al éxito económico de los dos países más poblados de la Tierra, China e India. Con respecto al resto de los países, el índice de Gini en el concepto 2 se porta esencialmente igual que el del concepto 1.

Finalmente Milanovic presenta sus cálculos del concepto 3 de desigualdad, el índice de Gini por persona, independiente del país de origen. Este número es mucho más difícil de calcular, porque depende de encuestas domiciliarias y éstas no están en las medidas estándar de desarrollo económico que recomiendan los organis-

CUADRO XI.1. *Índice de Gini para el concepto 3*

Medida/año	*1988*	*1993*	*1998*
Dólares internacionales	61.9	65.2	64.2
Dólares reales	77.3	80.1	79.5

mos internacionales, así que hay que recoger información dispar y armarla coherentemente. Por tanto, Milanovic sólo reporta Ginis para tres años, como se ve en el cuadro XI.1.

En el análisis del concepto 3 de desigualdad quizá no importe tanto si ésta crece, sino más bien su valor. En dólares internacionales —dólares metafísicos que tienen el mismo poder adquisitivo en cualquier lugar del mundo— el índice de Gini está por arriba de 60 —en los otros conceptos difícilmente alcanzó 56—, pero el resultado escandaloso se revela al calcular el índice de Gini en dólares reales, en que alcanzó 80 recientemente. Ni en la Inglaterra de principios del XVIII había una desigualdad como la que hay en el mundo a finales del XX.

Vale la pena mencionar una de las reflexiones periféricas que hace Milanovic en su libro. La que se refiere a la desaparición paulatina de países de "clase media". Primero define como clase media a todos los países que tienen ingreso per cápita mayor o igual que el de Brasil y menor que el de Portugal. Luego aplica los conceptos de desigualdad —países, países ponderados por

Cuadro xi.2. *Porcentaje de la población por categorías de ingreso*

	Concepto 1. Porcentaje de países	*Concepto 2. Porcentaje de la población mundial que vive en países cuyo ingreso promedio es de...*	*Concepto 3. Porcentaje de la población mundial cuyo ingreso es de...*
Pobre	58	70.1	77.4
Clase media	21	13.9	6.7
Rico	21	16.0	15.9
WENAO	15	13.0	10.0

población, población independientemente del país— para obtener el cuadro xi.2.

¿Qué se puede decir después de leer, entender y creer estas cifras? El mundo va mal y este camino es insostenible. Algo se tiene que romper. Pero tenemos cierto espacio aún para influir en qué se va a romper y cómo. Llegué a este libro leyendo a diversos futurólogos que dicen que algún tipo de gobierno mundial es inevitable en el futuro. Eso o de plano ya quitémonos de simulaciones y reconozcamos legalmente el vasallaje, la servidumbre y la esclavitud. Pero Milanovic es más optimista y dice al final de su libro:

> Estamos forzados a dirigirnos hacia una comunidad global y una democracia global, y una vez que lo hagamos, muchas de las funciones de los gobiernos nacionales de la actualidad —incluyendo el atender a los casos de extrema desigualdad y pobreza— serán asumidas por las nuevas instituciones. El camino hacia ese objetivo será largo y difícil. [...] Pero, si consideramos el camino que se ha andado en los dos últimos siglos —de un consorcio de poderes que dominaban el mundo sin preocuparse por consultar a nadie y que estaba basado en la explotación directa de los débiles, al conjunto actual de instituciones internacionales y a la voluntad, aunque forzada, para compartir la riqueza— y si proyectamos esos desarrollos en el futuro, hay, creo, pocas dudas de que nos espera la inclusión de más opiniones y la globalización de la toma de decisiones. En ese momento, el problema de la desigualdad global tendrá tanta importancia como ahora la tiene el de la desigualdad nacional en las discusiones políticas nacionales [p. 162].

Ahora sí que Dios lo oiga.

XII. LA DURACIÓN DE LA HUELLA HUMANA

La literatura conoce los relatos fantásticos. Aquellos que abren con una hipótesis que aceptamos por descabellada que sea, pero una vez que otorgamos esa suspensión del escepticismo —*suspension of disbelief,* popularizó Hollywood en sus películas—, tenemos la garantía de que lo que sigue son las consecuencias lógicas de la premisa aceptada. Memorablemente, *Los hijos de la medianoche,* de Rushdie, son los niños que nacen en el momento en que la India se volverá independiente. La hipótesis es que todos esos niños tienen poderes sobrenaturales, unos más, otros menos, según si nacieron más cerca o más lejos de las 12 campanadas; así está la muchacha que literalmente hiere con sus palabras, y la persona que cada vez que se sumerge en el agua, emerge con el sexo virado.

La novedad es que en los libros de hechos —*non fiction,* los clasifica la industria editorial de habla inglesa— se ha inaugurado el género fantástico. Un libro que se lleva las palmas es *El mundo sin nosotros,* de Alan Weisman.[1] La hipótesis es la siguiente: supongamos que por alguna razón, los humanos desaparecemos de pronto del planeta, ¿qué pasaría entonces?

Weisman no discute más las posibles razones de la desaparición de la humanidad, y como no habla para nada de los restos humanos orgánicos que dejarían 6 600 millones de desaparecidos, suponemos que lo que tiene en mente como mecanismo es la abducción de la humanidad entera. O su traslado, mediante un teletransportador de haz molecular de los que abundan en la ciencia ficción, a una galaxia cercana. Pero eso no le preocupa, sino lo que pasaría con la Tierra que conocemos a partir de la mañana siguiente de nuestra desaparición.

Empieza por nuestras casas. Estas casas modernas que están construidas, como tantas otras cosas de la modernidad, con un ojo puesto en su obsolescencia. Lo más probable es que no lleguen a la calidad de ruinas descubribles dentro de algunos miles de años, sino que simplemente desaparezcan sin dejar huella en pocos años. Ni siquiera tienen asegurada la permanencia de las casas construidas hace pocos siglos, porque

> por el lado positivo, al construir casas ligeras y baratas, usamos una menor cantidad de los recursos mundiales. Por otro lado, los gigantescos árboles de donde vinieron las masivas vigas que todavía tienen en pie tantas paredes medievales en Europa y en Japón, y algunas más recientes en América, son ahora tan escasos y singulares que no nos queda otra que hacer vigas con pedazos más chicos de madera aglomerados con pegamentos y resinas [p. 16].

El enemigo número uno es, desde luego, el agua. Y lo es también para el destino de las ciudades una vez que nos hayamos pasado a retirar.

---

[1] Alan Weisman, *The World Without Us,* Thomas Dunne Books/ St. Martin's Press, Nueva York, 2007.

Weisman elige Manhattan para analizar su futuro una vez que desaparezcan sus actuales inquilinos. Manhattan es una isla con colinas, por donde escurrían las aguas de la lluvia y las freáticas en su camino hacia el mar. Ahí, dice Weisman, está su punto débil, con el agua. Y la ciudad de México era un lago. El metro de Manhattan va por debajo del drenaje. Así que para sacar agua de los túneles hay que bombearla en contra de la gravedad. Durante una buena lluvia, en media hora de bombas apagadas se inunda el metro. El verano de 2009, dicen las autoridades, estuvimos realmente cerca de que algo así pasara en México. Y ni qué decir de lo rápido que se desarma una estructura inundada: en pocos años el viaducto volverá a ser el Río de la Piedad y el circuito interior, el Río Churubusco.

Nuestro pavimento —al menos el de las zonas altas que no queden bajo el agua— durará un poco más que el de una ciudad con inviernos rigurosos; en cambio, donde hace mucho frío, al final del invierno, en marzo, típicamente el pavimento se congela y se descongela diariamente. Cada que se congela el agua que se metió en una grieta del pavimento, la agranda al expanderse. Cada que se descongela, entra más agua en cada grieta. Inmediatamente después germinarán todo tipo de plantas en esas grietas. Pero la vegetación no será necesariamente la que había en ese mismo lugar —ya sea Manhattan o la ciudad de México— antes de que los humanos modificáramos todo: otro efecto nuestro es el de haber trasladado alegremente especies de un lugar a otro. Algunas no se adaptan nunca bien a bien al nuevo lugar y para que sobrevivan se requieren los cuidados de la jardinería o, lo que es casi lo mismo, de las

técnicas de cultivo agroindustriales modernas. Otras se adaptan y se mimetizan con las nativas —al menos eso es lo que dice la conseja popular acerca de los pimientos en México, que se vuelven chiles poblanos—. Pero hay algunas especies invasoras que se adaptan mejor que las especies nativas y las remplazan. Por otro lado, el futuro de las plantas de cultivo es muy oscuro, ya que

> son en realidad mutaciones, logradas mediante cultivo muy selectivo. Si acaso sobreviven, su tamaño y su abundancia disminuirán. Cuando no se cultivan las frutas, su selección natural favorece la resistencia, no el aspecto o el sabor [...] Las zanahorias, originalmente asiáticas, rápidamente se convertirán en indigeribles zanahorias silvestres después de que los animales hayan devorado las últimas zanahorias anaranjadas que plantamos [...] El brócoli, la col, las coles de Bruselas y las coliflores regresarán todas al mismo ancestro del brócoli, irreconocible. Los descendientes del maíz [...] tarde o temprano modificarán su ADN de regreso al del teosinte original mexicano, con una mazorca no más grande que una espiga de trigo [p. 31].

Finalmente está el asunto de los animales. Contrariamente al mito popular, las cucarachas y las ratas no sobreviven sin los desechos humanos, al menos no en las regiones frías: aquéllas se congelan y éstas se vuelven alimento de las aves de presa. Los perros llevan demasiado tiempo asociados con los humanos como para sobrevivir sin éstos, pero los gatos tienen un chance. Ahí andarán, comiendo pájaros (y ratas).

No hay nada que no acabe por ser degradado por las fuerzas de la naturaleza. Aunque en el camino de su degradación, los plásticos todavía encontrarán la forma de hacer más daño. Porque lo que hacemos con los plásticos es de escala humana —los envases guardan un litro, un kilo, o por ahí. Y su efecto actual es sobre los animales de esa escala— las tortugas, las gaviotas. Pero en su camino de degradación, los plásticos se pulverizan hasta alcanzar tamaños subhumanos pero perfectamente microorganísmicos. Todavía no sabemos si el zooplancton se verá afectado por esas partículas, pero ya sabemos que los invertebrados que filtran el agua de partículas orgánicas mueren por ingestión de plástico igual que las gaviotas. De nuevo, tarde o temprano evolucionará el bicho que pueda digerir el plástico, y tendrá su fiesta.

En comparación, la infraestructura que hemos establecido para proporcionarnos nuestras dosis de petróleo no causará tantos problemas. Las laberínticas instalaciones de las refinerías, los contenederes de las sustancias más tóxicas que se producen en la petroquímica, los procesos industriales que requieren intensivísimos usos de energía, la propia contaminación que estas cosas producen, durarían poco, y desaparecerían sin mayores efectos en el mundo sin humanos. Unas cuantas explosiones —espectaculares desde la visión antropocéntrica, pero despreciables desde cualquiera otra—, unos cuantos incendios, unas manchas de petróleo en el mar —para cuya degradación ya han evolucionado unos microorganismos—, y párenle de contar. Un posible evento, no exento de poesía, es la torre de extracción de gas, que podría arder durante miles

de años si casualmente se dieran las condiciones adecuadas.

Quizá, como dice Weisman, algún día aprenderemos a controlar nuestros apetitos. Pero si no, nuestra huella en el planeta acabará por borrarse —o enterrarse en el manto terrestre— y la Tierra estará lista para darle su oportunidad a otro producto de la evolución.

Uno más inteligente, tal vez.

XIII. NOVEDADES EN EL FRENTE

Descubriendo el agua tibia, diremos que lo que ocurre en el mundo está determinado por lo que la publicidad —entendida en el sentido más amplio— determina que ocurre. Y es que todo *—todo—* está sancionado y regido a fin de cuentas por su presencia en los medios. Los portales de los servicios informativos sienten la obligación de emitir noticias con frecuencia de minutos —se le llama *feed* y somos golosos ahítos de esa comida—. Y las noticias de cada minuto mezclan indistintamente el último escándalo de una estrella *pop* con la última tragedia mortal, accidental o deliberada, y con la ocurrencia de un político de renombre, y con el resultado del futbol, y con el boletín de prensa que anuncia el apocalipsis. Y hay que competir con eso si se quiere hacer llegar un mensaje. Entre tanta información, está sepultada la que, en el futuro, sabremos reconocer como la importante, la que sí había que atender. En ese remolino de información nos llegan las novedades desde el frente del calentamiento global.

The New Yorker es el *top* de las revistas, ahora sí que parafraseando a Cole Porter, el *New Yorker* es el Harvard de las revistas, bueno, es los Pumas de las revistas. Nunca falta quién se queje y diga que la revista ha visto tiempos mejores —ésa es la opinión, ni más ni menos que de nuestra admirada Jamaica Kincaid—, pero nos permitiremos en esta ocasión diferir de tan ilustres opiniones y seguir emocionados ante algunas de las prácticas editoriales del *New Yorker*. La que nos ocupa es la serie de artículos que Elizabeth Kolbert le vendió a los editores —la serie que los editores le comisionaron— sobre el reporte desde las trincheras de los efectos del cambio climático. Y entonces allá va Elizabeth Kolbert por medio mundo y entrevista personajes clave en Alaska y Nueva York, viaja con científicos de campo en Groenlandia, visita respetables ancianos en Islandia, entomólogos en Inglaterra, burócratas en Washington, mosquitólogos en Oregon, ecologistas en Inglaterra, hidrólogos y arquitectos en Holanda, y políticos en Nueva Inglaterra. Con todo eso prepara tres entregas extensas para la revista, que fueron leídas y ampliamente comentadas por los ávidos lectores del *New Yorker*. Pero las publicaciones periódicas tienen sus ritmos y el trabajo de Kolbert trascendió el de ese medio. Con un poco de elaboración adicional, se convirtió en el libro *La catástrofe que viene: el hombre, la naturaleza y el calentamiento global*.[1]

En comparación con la escala de tantas cosas que hemos modificado en el transcurso de la desaforada corretiza de los últimos 100 años —la población mundial, el uso del agua, el consumo de combustibles fósiles—, el aumento de la concentración de CO_2 en la atmósfera es mínimo: sólo lo hemos elevado, en promedio, en los últimos milenios, de 280 a 380 partes por millón. Aumento de un mero 36%. En esto se refleja la escala pla-

[1] E. Kolbert, *Field Notes from a Catastrophe: Man, Nature, and Climate Change*, Bloomsbury Pub., Nueva York, 2006. Versión en español publicada por Rayo, 2009.

netaria, el tamaño ingente de la atmósfera: hacen falta miles de millones de toneladas de CO_2 para cambiar su concentración atmosférica en unas partes por millón. Pero también en esto se refleja la escala planetaria de las actividades humanas en la era actual, a la cual llamamos *antropoceno* por esta razón. No hay duda de que las actividades humanas son responsables del aumento de la concentración de CO_2 en la atmósfera. Tampoco hay duda de que si continuamos con esas actividades tal y como van, seguirá aumentando esta concentración. Finalmente, tampoco hay duda de que este aumento tendrá importantes efectos climáticos globales. Y ni siquiera hay duda en la dirección de esos cambios. Si acaso, la única duda *científica* que se puede mantener es la magnitud de esos efectos. Y la razonable duda *política* acerca del mejor curso de acción para la humanidad.

La relación causal entre la actividad humana, el aumento en la concentración de CO_2 en la atmósfera y el aumento de la temperatura media global del planeta está perfectamente establecida. La evidencia de los efectos de este calentamiento es abundante. Incluye la desaparición del *permafrost*, esa capa de suelo —permanentemente congelada en muchas zonas boreales y polares— que al desaparecer modifica la mecánica del suelo y provoca el derrumbe de una casa o el levantamiento de una línea férrea. Incluye el derretimiento de los glaciares y la consecuente modificación de la dinámica del agua, con efectos tales como la desaparición de un lago entero en cuestión de horas cuando la fusión del glaciar abre una vía de desagüe, o la reciente apertura del Pasaje del Norte —oficialmente ocurrida en el verano de 2007— que está a punto de permitir, por primera vez en la historia de los humanos, el paso regular de barcos de América a Eurasia por la vía del Océano Ártico. A través de una cadena de eventos más indirecta, también se encuentra evidencia en la actividad de ciertos animales, como la mariposa Coma de las Islas Británicas, que en los últimos años ha extendido su hábitat, hacia el Norte, con una velocidad de cerca de 80 kilómetros por década; o el fatal destino del sapo dorado, *Bufo periglenes,* descubierto apenas en 1964 en las tierras altas de la Cordillera de Tilarán, en Costa Rica, y oficialmente declarado extinto en 1999 luego de que un aumento en la altura promedio de las nubes en el área —atribuido al calentamiento global— causó la destrucción del frágil nicho evolutivo en el que se había acomodado este bufo.

Pero también está el importantísimo caso de un mosquito, *Wyeomyia smithii,* al que los efectos de la actividad humana han forzado a evolucionar en una dirección específica, en el primer caso documentado de tal intervención humana. Porque resulta que el bicho en cuestión tiene una característica especial. A diferencia de tantos otros animales, que determinan sus respuestas vitales mediante la valoración de múltiples parámetros ambientales —temperatura, humedad, duración del día, disponibilidad de alimento—, éste sólo sabe de la duración del día. Sus ritmos vitales y, en particular, su entrada al estado de latencia que le permitirá sobrevivir el invierno, están marcados por la luz solar: el insecto se va a dormir cuando los días se hacen suficientemente cortos, haya o no comida, haga frío o calor, con suficiente agua o sin ella. Desde luego, la fecha exacta en la que una población de estos moscos se va a dormir —es decir, inicia su versión de la hibernación, la diapausa— no es la misma a lo largo de la amplia región geográfica en la que se le encuentra. En las latitudes grandes, se van a dormir cuando el día es aún muy largo, mientras que en las regiones más templadas todavía se les ve activos en la época del año en que los días duran 12 horas. La longitud del día está determinada por la órbita de la Tierra —que a pesar de todo, aún no hemos modificado con nuestra actividad—, pero la temperatura y otras variables que afectan el ciclo de vida de los mosquitos, sí han cambiado. De vez en cuando, una mutación aleatoria producirá un animal que se vaya a hibernar hasta que el día dure un poco menos, y también uno que se vaya a dormir antes, cuando el día es todavía largo. El chiste es que, en los últimos 20 años, los moscos de esta especie se van a dormir cada vez más tarde en el año —con días más chicos—, porque dadas las mejores condiciones —para los moscos— que genera el calentamiento global, los mutantes que se van a dormir más tarde han encontrado una ventaja adaptativa, viven más, tienen más prole y dominan su especie, transformándola en este ejemplo de libro de texto del mecanismo evolutivo. Tal como lo imaginó Darwin, con la originalidad de que la causa de la presión evolutiva es un efecto de la actividad humana.

La evidencia de que lo que venimos haciendo los humanos desde hace unos 200 años tiene consecuencias globales variadas es incontrastable. En lo que nomás no nos podemos poner de acuerdo es en el tamaño de esas consecuencias, ni en la mejor manera de enfrentarlas.

Los comentaristas de un grupo son de persuasión tal —optimismo rampante, podría llamarse— que los lleva a minimizar los efectos. Cuando la incertidumbre inherente de una predicción científica lleva a decir que la temperatura promedio global aumentará, para fin de siglo, entre 1.5 y 4.5°C,[2] escogen 1.5°C y nos tratan de convencer de que no es para tanto. Otro grupo, quizá más realista en al menos dos direcciones, opina acerca de lo que debemos hacer considerando que el abandono del paradigma del crecimiento económico permanente implica, inevitablemente, un descenso en el nivel de vida de la humanidad. Y considera que este descenso seguro *—clear and present,* le dirían en inglés— es más indeseable que el descenso incierto, de magnitud desconocida, al que nos *tendremos* que enfrentar en el futuro. Y puede que sean más realistas también en la dirección de que es muy improbable que, *motu proprio* y sin una amenaza clara y presente, abandonemos la fiesta del siglo de oro del animal humano y disminuyamos nuestras actividades en el planeta.

Pero la magnitud de las consecuencias posibles de la amenaza incierta nos obligan a reconsiderar. Es famosa la *apuesta de Pascal,* que dice que creer en Dios es más conveniente que no creer en él, porque si bien es poco probable que exista, el premio del paraíso es tan grande que vale la pena jugar a favor. De nuevo, algo así como que vale la pena que gaste 10 pesos semanales en el Melate porque, aunque es poco probable, el día que me lo gane voy a obtener un dineral. Y es que las consecuencias probables del calentamiento global son devastadoras.

---

[2] J. D. Annan y J. C. Hargreaves, *Geophysical Research Letters* 33(6) L06704, 2006.

Quizá la primera consecuencia del calentamiento global que uno imagina es el aumento en el nivel medio del mar. Después de todo, es claro que hay grandes cantidades de agua contenidas en los glaciares, las cuales, según vemos, se funden en la actualidad a gran velocidad. Tan sólo la capa de hielo que cubre 80% de Groenlandia contiene 8% del agua dulce del planeta. Pero el principal efecto de su fusión no sería el aumento en el nivel medio del mar, sino la disminución de la salinidad de la zona norte del Océano Atlántico que podría detener la circulación termohalina —temperatura y salinidad—, una de cuyas corrientes es la del Golfo, responsable, cuando menos, de las benignas condiciones climáticas de las Islas Británicas. Eso no nos salva de que el nivel medio del mar aumente. Aumentará, si no por el agua extra, sí por la expansión térmica de todo el líquido elemento. La mejor estimación actualmente posible, realizada bajo la suposición de que no hagamos nada, predice un aumento de dos metros en el nivel medio del mar.[3] Adiós países enteros. Pero no se acaba ahí la cosa. Existe una alta probabilidad —que no certeza, lo que justifica a los apostadores optimistas— de que el calentamiento global incremente la ocurrencia de eventos climáticos extremos: ciclones, tormentas, inundaciones.

Una verdadera guerra científica y mediática se desarrolla actualmente en este frente, a donde se han retirado algunos de los polemistas que negaron el calentamiento global en el pasado reciente.[4] Así que ahí estamos, midiendo atentamente el número —la temporada de 2005 rompió el récord en el número de huracanes y, por primera vez, no alcanzaron las letras del abecedario para nombrarlos— y la intensidad —un estudio reciente dice que ha aumentado 75% en los últimos 30 años—[5] de los huracanes, tifones y esos fenómenos de los que nunca habíamos tenido noticia y para los que, por lo tanto, no tenemos un nombre específico.*

Y no acaba ahí la cosa. En un terreno aún más incierto se sabe que, en todas partes del mundo, el clima local —en particular, la precipitación de agua— cambiará drásticamente. Nomás que no se sabe cómo exactamente. Hay dos ejemplos sobresalientes. El pri-

---

[3] Kurt M. Campbell, Jay Gulledge, J. R. McNeill, John Podesta, Peter Ogden, Leon Fuerth, R. James Woolsey, Alexander T. J. Lennon, Julianne Smith, Richard Weitz y Derek Mix, *The Age of Consequences: The Foreign Policy and National Security Implications of Global Climate Change,* Center for Strategic and International Studies, 2007.

[4] C. Mooney, *Storm World: Hurricanes, Politics and the Battle over Global Warming,* Harcourt, Orlando, 2007.

[5] K. Emanuel, "Increasing Destructiveness of Tropical Cyclones over the Past Thirty Years", *Nature,* vol. 436, 4 de agosto de 2005 (doi:10.1038 nature 03906).

* En 2004, un "huracán" azotó las costas de Brasil. Hasta entonces se suponía que era imposible la formación de huracanes en el Atlántico Sur. Como se sabe, la palabra huracán describe, originalmente en alguna lengua del Caribe, maya, taíno o arawaka, esencialmente el mismo fenómeno que describe la palabra tifón, de probable origen chino. Algunos ingeniosillos proponen el término "brasilcán".

mero es el de la capa de hielo que cubre Groenlandia. No acaba de ser claro si el calentamiento global va a producir que se derrita esta capa y desaparezca o si el calentamiento global va a producir que aumente la precipitación —en forma de nieve— en las partes centrales de la isla, con el consiguiente *aumento* del tamaño de la capa de hielo. El segundo es el de la modificación de los patrones de precipitación en todo el mundo. Los programas de cómputo más avanzados que tratan de predecir el efecto de una mayor concentración de CO_2 en los patrones de precipitación, predicen un desastre. Nuestro principal problema a finales del presente siglo no sería el de lidiar con un nivel medio del mar dos metros más alto, ni con ciclones *hors catégorie*. Nuestro principal problema sería lidiar con la sequía. Un estudio reciente[6] sugiere, con la cautela acostumbrada, "[nuestro modelo predice que] la proporción de la superficie terrestre en situación de sequía extrema pasará de 1% en la actualidad a 30% al final del siglo XXI". En las entrañas del reporte uno se entera de que la proporción de la superficie terrestre en situación de sequía severa pasará, de acuerdo con este modelo, de menos de 10% en la actualidad a más de 40% a finales del presente siglo. Con lo que ya andamos con más de dos terceras partes de la Tierra en condiciones de sequía. Finalmente, el modelo predice que a las regiones que peor les va a ir son la Amazonia, México y casi todo Estados Unidos, Europa —peor entre más cerca del Mediterráneo—, el norte de África y el centro-oeste de Asia. Como curiosidad, reportaremos que no le va tan mal a China. Como dicen por acá, ahora que se acabe el mundo nos vamos a tener que ir a Mérida. No queremos imaginar las consecuencias.

La sequía es una amenaza particularmente inquietante porque tiene una larga asociación con los desastres humanos. En una historia clásica de arqueólogos, las ruinas de Tell Leilan, pertenecientes a una ciudad del imperio centrado en la mítica ciudad de Agadé (Akkad), fueron descubiertas en 1978. En 1993 se publicó[7] una hipótesis aventurada, basada en el análisis de los estratos de tierra encontrados en el sitio: una sequía extrema destruyó en unos cuantos años el imperio. En 2000, otros investigadores[8] analizaron los sedimentos de una cuenca lacustre cercana bajo la hipótesis de que, en el evento de una sequía, habría una capa del mineral que más fácilmente se transporta en una polvareda —la *dolomita* en esa zona—. Resultó que ahí estaba una capa con concentraciones de dolomita cuatro veces mayores que el promedio correspondiente a la fecha exacta en que desapareció el imperio Agadé.

---

[6] E. J. Burke, S. J. Brown y N. Christidis, "Modeling the Recent Evolution of Global Drought and Projections for the Twenty-First Century with the Hadley Centre Climate Model", *Journal of Hydrometeorology* 7(5), 2006, pp. 1113-1125.

[7] H. Weiss, M. A. Courty, W. Wellerstrom, F. Guichard, L. Senior, R. Meadow y A. Currow, "The Genesis and Collapse of Third Millennium North Mesopotamian Civilization", *Science*, 291, 1993, pp. 995-1088.

[8] H. M. Cullen, P. B. de Menocal, S. Hemming, F. H. Brown, T. Guilderson, F. Sirocko, "Climate Change and the Collapse of the Akkadian Empire: Evidence from the Deep Sea", *Geology*, vol. 28, 4, 2000, pp. 379-382.

Este caso se ha vuelto el ejemplo clásico del colapso de una civilización por motivos ambientales.

Pero no el único. Las más convincentes explicaciones del colapso de la sociedad maya, de la sociedad de la isla de Pascua, de la sociedad Tiwanaku —en los Andes—, del viejo imperio egipcio, de la cultura Anasazi y de la Moche, están basadas en motivos ambientales. Aunque tampoco son éstas las causas únicas del colapso de una civilización. En un interesantísimo libro académico especializado que, a diferencia de tantos otros del género, se *puede* leer, Joseph Tainter presenta más ejemplos de colapso y más razones para éste. El colapso de las *sociedades complejas*[9] es un libro de historia, arqueología y economía, cuando menos. Su tesis central es que, en condiciones iguales, la complejidad de la organización de una sociedad provoca una disminución de los rendimientos marginales hasta llegar al punto en que la sociedad no se puede sostener y colapsa. Desde luego que el cambio en las condiciones ambientales puede modificar también los rendimientos marginales de una sociedad, pero Tainter nos muestra más razones para el colapso. Mi ejemplo favorito —entre los que aparecen en ese libro— es el del Imperio romano, quizá por las similitudes con la época actual, al que acabó de hundir el desastre financiero provocado por la distribución gratuita de grano a la que los ciudadanos romanos se habituaron a lo largo de generaciones, hasta llegarlo a considerar un derecho inalienable. Con un parecido perturbador con las necesidades que imponen en la actualidad los planes de pensiones para una población en la que el número de pensionados aumenta continuamente.

El problema actual de la humanidad es que, a diferencia de lo que ocurrió en los colapsos anteriores, ahora es imposible un colapso local. Y quizá también sea diferente que las amenazas que se ciernen sobre nosotros son múltiples y extrañamente concurrentes: cambio climático, pico del petróleo, escasez de agua dulce, escasez de materias primas, límites a la producción de alimentos, etcétera. Malos augurios. Luego de presentar sus argumentos, Tainter nos ofrece estas sombrías conclusiones: “El colapso, cuando llegue si es que llega, será en esta ocasión global. Ahora no es posible que sólo se colapse una nación aislada. La civilización mundial se desintegrará completamente”.

Para las sociedades antiguas, la solución a la disminución de los rendimientos marginales consistía en obtener nuevos subsidios energéticos. En los sistemas económicos activados principalmente por la agricultura, la ganadería y el trabajo humano (a fin de cuentas, pura energía solar), esto se lograba mediante la expansión territorial. La Roma antigua y los estados guerreros de China adoptaron este camino, al igual que innumerables constructores de imperios. En la economía actual, activada por reservas de energía almacenadas (los combustibles fósiles), y especialmente en un mundo lleno, este camino es imposible. El capital y la tecnología disponibles deben dirigirse a facilitar una fuente nueva y más abundante de energía. La innovación tecnológica y el aumento en la productividad pueden detener la disminución de los rendimientos marginales actividades humanas crecen día con día. Pero entre todas esas gráficas que se dirigen hacia arriba, se pueden leer cosas muy interesantes: el crecimiento casi lineal, en las últimas décadas, de la población humana, la reciente aceleración en la cantidad de coches producidos, el aumento casi exponencial de los viajes aéreos y el bache menor que significó el 11 de septiembre de 2001, el heroico esfuerzo de la humanidad por sostener el consumo de pescado.

---

[9] Joseph Tainter, *The Collapse of Complex Societies*, Cambridge University Press, Nueva York, 1988.

Las buenas noticias son escasas en este libro, así que, en cuanto encontramos una, corremos a difundirla: Taiwán anunció un plan para construir 2 600 kilómetros de ciclopistas en los próximos cinco años, y Francia creó el puesto de "Monsieur Vélo" —una especie de ministro de la bicicleta—, cuya responsabilidad es incrementar el uso del aparato.

Por el contrario, las malas noticias abundan. Nos está costando cada vez más trabajo mantener nuestra producción de alimentos. Por ejemplo, la producción de granos en 2005 se mantuvo apenas arriba de 2 000 millones de toneladas —por segundo año en la historia de la humanidad— aunque fue un poquito más baja que la producción récord de 2004; por otro lado, la producción de granos por persona en 2005 es la sexta más baja de los últimos 20 años, detrás, entre otros, de 2000, 2002 y 2003. Los granos constituyen 47% de nuestras calorías, 42% de nuestras proteínas; ocupan la mitad de los terrenos cultivados y dos tercios de los irrigados. Los principales productores de granos son, sin que esto sorprenda a nadie, China, India, Estados Unidos y la Unión Europea. Los finos detalles del clima en las

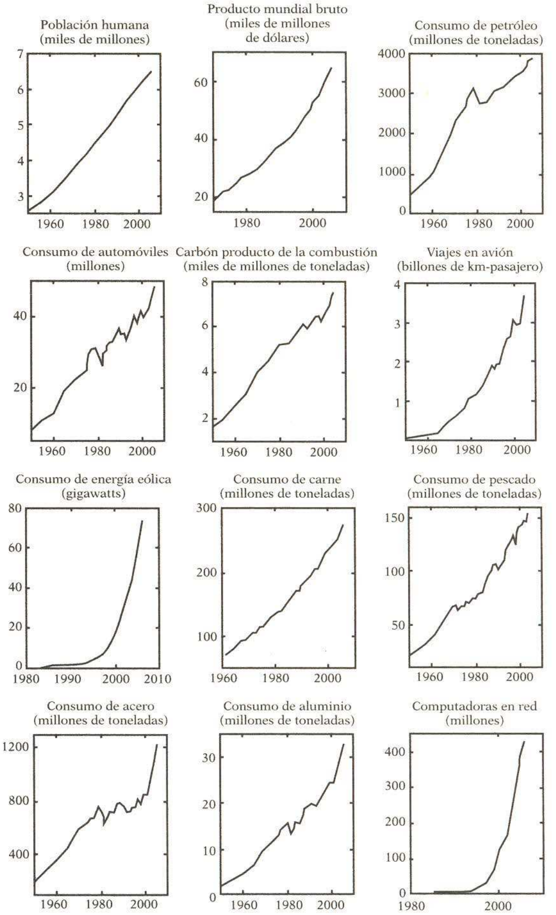


FIGURA XIV.1. *En el siglo de la abundancia casi cualquier actividad humana que se mida a lo largo del tiempo muestra un incremento sostenido.*

distintas zonas del mundo beneficiaron a unos, perjudicaron a otros y determinaron una buena parte de la cosecha resultante. Para 2008, aun cuando no tenemos los datos globales más recientes, sabemos que los precios de los granos han aumentado casi a la par del petróleo y de otras mercancías: el trigo, por ejemplo, promedió cerca de 14 centavos de dólar por kilogramo en 2005, pero se ha llegado a vender a 46 centavos por kilogramo en 2008.*[2]

Las razones de la triplicación del precio del trigo —y de tantos otros granos— en menos de tres años se andan buscando en el aumento en el consumo de carne del animal humano, que se ha multiplicado por cinco desde los cincuenta y por dos desde los setenta. Pero la culpa del aumento actual, parece, la tenemos especialmente los habitantes del Tercer Mundo que aumentamos nuestro consumo, durante 2005, en casi tres veces lo que los habitantes del mundo industrializado. Y ya mero los alcanzamos, nosotros vamos en 31 kilogramos por año, ellos, en 81. Nunca antes en la historia de la humanidad se había producido tanta carne, nunca antes había habido tanta carne por persona.

Tampoco se habían producido nunca antes tantos pescados y mariscos. Aquí ocurre un fenómeno particularmente interesante porque la cuota proveniente de las fuentes silvestres —lagos, mares y océanos— apenas puede mantenerse igual a la de los años anteriores —el récord lo tiene el año 2000— pero es suplementada por el crecimiento explosivo de la acuacultura mediante la que se produce el doble que en 1995. Mientras, el atún de aleta azul —que no se cultiva— cada vez es más escaso y un ejemplar —200 kilos— ha llegado a costar casi 200 000 dólares en los muelles japoneses.[3]

Pero esos pequeños contratiempos no nos van a quitar el sueño, ni a bajar del coche. La producción de automóviles se acelera como nunca y aumentó 5.9% el año pasado. Todas las carreras son emocionantes y este año vimos que el liderazgo en la producción de vehículos cambió de dueño: por primera vez los japoneses superaron a los gringos en eso de hacer autos. Pero eso no es lo mejor, China vino de atrás y con un aumento de 29% en un año se coló al tercer lugar y mandó al cuarto a Alemania. Francia, Corea, España, Canadá, Brasil y México (¡Mé-xi-co!, ¡Mé-xi-co!) hacen la decena.

En cada edición de *Signos vitales* se particulariza en algún tema, y en esta ocasión es el tema de los signos vitales ambientales. Hay dos efectos documentados del calentamiento global en las costumbres de diversos seres vivos: las conductas que dependen de la llegada del calor en el ciclo anual se están extendiendo en el año y las conductas que dependen del calor, determinado por la latitud, se están extendiendo hacia los polos. Este tipo de efectos puede causar emoción en algunos economistas de la abundancia eterna (¿o cómo más decirle a los *cornucopians*?) que nos ven cosechando en Groenlandia y en la Patagonia.*[4] Y sumir en la preocupación a los ecologistas que no tienen idea de lo que pueda pasar con las nuevas interacciones entre especies que estos cambios permitan.

---

[2] Véase http://www.premiumdata.net/support/understanding-futuresdata.php y http://www.tfc-charts.w2d.com/chart/CW/W.

* El trigo se cotiza en la bolsa en las increíbles unidades de centavos y octavos de centavo de dólar por bushel. Son increíbles, aparte de lo de los octavos, porque el bushel es una unidad de peso que pesa distinto dependiendo de qué sea lo que se mida. Para trigo pesa 60 libras.

[3] R. Ellis, "The Bluefin in Peril", *Scientific American*, marzo de 2008, pp. 59-65.

Porque una de las cinco causas más importantes del malestar de las especies —aquellas especies que están en diversos grados de riesgo de extinción— la constituyen las especies invasivas.** Ahora sí que los inmigrantes que se acomodan mejor al lugar que los nativos y los desplazan hasta desaparecerlos o, cuando menos, ponerlos en riesgo de desaparición. Después del siglo de oro del animal humano muchos de estos inmigrantes —transplantados por nosotros con algún beneficio económico o estético en mente, aunque en repetidos casos más bien polizones, como los que viajaron en el lastre de las embarcaciones— habrán encontrado nichos ecológicos perfectos para sus habilidades y serán los nuevos nativos del lugar. La lista de las especies invasivas tiene unos villanos estelares, como la carpa común, la tilapia de Mozambique, la rata de los barcos, el conejo europeo y el parásito de la malaria avícola.

Las cinco causas del malestar tienen en muy mala forma a un gran número de especies. La Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza definió una lista de 40 168 especies, entre las que encontró 16 118 en peligro de extinción, de acuerdo a su definición: la tercera parte de los anfibios, la cuarta parte de los árboles de coníferas, la octava parte de los pájaros y la cuarta parte de los mamíferos. A 85% de los más de 500 crustáceos evaluados se los está llevando el payaso.

A la hora de tomar el pulso del mundo le toca su observación detenida a cada cosa. Incluida la salud humana, que muestra que en comparación con un estudio de 1960, la cantidad promedio de espermatozoides por mililitro de semen en el estudio de 2002 era de la mitad. Y el reporte que dice que en Nauru (el Estado independiente más pequeño del mundo, con 21 kilómetros cuadrados de superficie y menos de 10 000 habitantes) la tasa de obesidad es cercana a 80%, y en donde, a diferencia de otros países con tasas de obesidad de dos dígitos —entre ellos Estados Unidos, México, Kuwait, Egipto, Mongolia—, la prevalencia de esta condición es más abundante entre hombres que entre mujeres.

Al parecer nuestro paciente está muy enfermo. Esperamos con atención el próximo reporte de sus signos vitales.

---

* Su campéon es Bjørn Lomborg, un persuasivo y juvenil danés que, si uno se distrae, puede confundirse con un activista de Greenpeace.

[4] Véase, por ejemplo, B. Lomborg, *Cool It: The Skeptical Environmentalist's Guide to Global Warming*, Knopf, Nueva York, 2007.

** Las otras que forman el acrónimo inglés HIPPO son contaminación, pérdida de hábitat, cambio climático y sobreexplotación.

LA GRANJA DE GENERACIÓN DE ENERGÍA

> Cada civilización es sólo la expresión de una forma de consumo de energía.
>
> VACLAV SMIL

La característica más notable de la modernidad es la intensidad de nuestro consumo energético. El promedio mundial de consumo de energía por persona es de 65 GJ/año —equivalente a 20 esclavos para cada persona—. Las perspectivas de disponibilidad de energía están limitadas por el pico en la producción mundial de petróleo y por el aumento de la demanda de energía eléctrica. Ambos problemas son particularmente apremiantes en México. Será necesaria una modificación masiva en las fuentes de generación de energía para satisfacer las necesidades futuras de una sociedad moderna. Esta modificación requerirá tanto de la adquisición de capacidades técnicas para establecerla y mantenerla, como de la modificación de nuestros hábitos de empleo de energía —notablemente en el transporte, por ejemplo—. La generación y el empleo sustentable de energía es quizás el ejemplo más importante de aplicación de altas tecnologías en la solución de los problemas actuales. El proyecto de Estación Esperanza está centrado en la producción y utilización racional, eficiente, de alta tecnología y sustentable de energía.

La granja de energía en EE atiende tres etapas. La generación se realiza mediante una turbina de viento y un campo de celdas fotovoltaicas; la capacidad instalada conjunta es de 500 kW.* El almacenamiento de energía es necesario debido a la intermitencia en su generación —periodos de oscuridad y de ausencia de vientos—, y se atiende mediante el empleo de los excedentes de electricidad en la producción de hidrógeno gaseoso por electrólisis de agua y su almacenamiento en tanques. La regeneración de energía se realiza, bajo demanda, con la producción de energía eléctrica mediante el uso de celdas de combustible. De tal manera se asegura la disponibilidad permanente de energía eléctrica con una potencia promedio de 200 kW.* La energía disponible se emplea en las necesidades cotidianas de una instalación de alta tecnología con una población de aproximadamente 60 personas —un máximo de 40 kW— lo que significa un excedente permanente de 160 kW. Esta energía extra se utiliza en la variedad de proyectos productivos —seleccionados y puestos en marcha de acuerdo con las ideas de sustentabilidad que animan el proyecto— constituyentes del núcleo de la escuela de formas de vida sustentables.

---

* Una casa típica demanda en horas pico 2 kW (1.2 kW promedio), el equivalente al consumo de 20 focos de 100 watts, de tal manera que 500 kW pueden satisfacer la demanda de 250 casas en horas pico (fuente: DOE).

* En promedio, en la generación fotovoltaica y eólica se produce 40% de la capacidad de generación instalada. Así, una capacidad instalada de generación de 500 kW produce en promedio 200 kW.

> We can't solve problems by using the same kind of thinking we used when we created them. Albert Einstein

Existe una disparidad entre la importancia que tiene la crisis ambiental y energética y su percepción por parte de la sociedad en general. Si bien, en los últimos tiempos los efectos del cambio climático tienen amplia difusión en los medios, la propuesta y adopción de nuevos hábitos es muy limitada. De manera similar, la educación profesional sigue enfocada en los modos de producción empleados recientemente, los cuales conservan las características de empleo de recursos y tratamiento de desechos que nos han llevado a la situación actual. Presumiblemente, las actividades económicas viables y necesarias para enfrentar los problemas mencionados requerirán una comprensión cabal de los aspectos ambientales y energéticos de manera general por parte de toda la población, y de manera mucho más profunda por parte de los profesionales técnicos que tendrán que dirigir la adaptación a las nuevas tecnologías. Adicionalmente, las crisis ambiental y energética son, de manera esencial, complejas, de tal manera que se requiere una renovación multidisciplinaria de nuestros abordajes al problema.

Estación Esperanza se propone como una demostración del concepto de sustentabilidad gracias a la tecnología. La demostración del concepto se aprovechará para educar a dos poblaciones principalmente. En la primera, se difunden los problemas ambiental y energético, así como las posibles soluciones planteadas por la tecnología moderna. Este objetivo se alcanza mediante un conjunto de cuatro cursos, de una semana de duración, que se imparten en la propia EE. En esa estancia, los participantes viven en la EE y experimentan directamente las características de la producción sustentable. Más adelante detallamos una propuesta de los sectores a quienes se dirigirá esta actividad.

La segunda función de la escuela está dirigida a la reproducción de prácticas de sustentabilidad que incluyen proyectos productivos. La adaptación de la producción de acuerdo con las prácticas sustentables es complicada y requiere entrenamiento específico. La experiencia acumulada en EE se transmite y se multiplica en proyectos específicos de generación/almacenamiento/reconversión de energía, producción de biomasa, manejo de recursos, etcétera. Estación Esperanza alberga proyectos específicos que se dirigen a la demostración de algún principio de sustentabilidad y que requieren los insumos que se producen ahí, principalmente energía. Este tipo de proyectos constituye la principal interacción de EE con el entorno académico, productivo y local, ya que es en estrecha colaboración con éste como se proponen originalmente. Una primera lista de proyectos posibles incluye la potabilización de agua mediante ósmosis, la producción de combustibles a partir de biomasa mediante procesos químicos o bioquímicos, la producción de biomasa para la creación de combustibles, la experimentación con máquinas de generación —concentradores solares, máquinas de Stirling— y de almacenamiento —microhidráulicas— de energía, la realización de proyectos de economía ecológica, etcétera.

Los cursos de EE

La oferta de cursos en EE puede ser muy variada. En principio hemos pensado en centrarla en el problema de la energía, pero debemos mantener una gran flexibilidad y adaptarlos a las necesidades que se perciban en el proceso. Una primera idea es proporcionar cuatro cursos básicos de una semana de duración:

- *La ciencia de la energía.* La física de la energía, su conservación y su interconversión. La física de la entropía: los límites de la interconversión. La contabilidad de la energía: producción mecánica, producción fotovoltaica, producción química. Los principios de la eólica, la fotovoltaica, la electrólisis y las celdas de combustible.
- *La tecnología y la economía de la energía.* Generación de energía. Combustibles fósiles.
- *La demografía de la energía*. Producción de energía. Consumo de energía.
- *La ecología de la energía*. Efectos ambientales de la producción, el transporte y el consumo de energía.

Cada semana habrá una conferencia impartida por un invitado. Los invitados serán seleccionados por un comité y se aprovechará la extensa red de contactos en el mundo académico y político que tienen los participantes en este proyecto. Este programa de conferencias contribuirá a dar a conocer el proyecto en general.

La participación de las energías renovables en la economía

El sector económico de las energías renovables ha crecido de manera acelerada en los últimos años. La capacidad instalada de generación de energía eléctrica mediante turbinas eólicas se incrementó 20% tan sólo en 2006.[1] El desarrollo de la capacidad técnica en México para participar en estas actividades económicas es urgente. Algunas instituciones de educación han establecido recientemente programas de estudio dedicados a esta industria emergente; pero las necesidades de esta industria requieren de personal capacitado en la provisión de todos los servicios asociados. La experiencia acumulada por EE tendrá un gran valor en este mercado.

EE y la alta tecnología

Los problemas característicos del antropoceno tienen su origen en la aplicación masiva de soluciones tecnológicas a todos los aspectos de la vida humana. Interesantemente, la solución de estos problemas para toda la humanidad requiere también de la aplicación masiva de soluciones tecnológicas. En EE se demuestran los conceptos de la sustentabilidad basados en la más alta tecnología disponible en todos los aspectos de su función: en la generación, almacenamiento y reconversión de energía, en la arquitectura y el manejo del sitio, en

---

[1] D. Fairless, *Nature* 447, 2007, p. 1047.

EPÍLOGO

No somos futuristas ni futurólogos. El futuro es incierto y cualquier cosa puede pasar. La racionalidad y la magia tienen una larga tradición de intentos de juntar toda la evidencia disponible en el presente —que incluye siempre el pasado— para predecir el futuro. En ese empeño, estas dos ciencias exactas comparten un historial donde abundan, en proporciones comparables, el fracaso rotundo —como el de aquel responsable de una oficina de patentes que, a finales del XIX, anunció su cierre "porque ya no quedaba nada por descubrir"— y el éxito de la predicción cumplida hasta el mínimo detalle —como el pico de Hubbert para la producción de petróleo en Estados Unidos—. Ojalá que dentro de un siglo la humanidad haga mofa de nosotros, los que a principios del XXI creemos que estamos metidos en un lío. Pero la evidencia actual, a nuestro leal saber y entender, apunta en una dirección inequívoca: el estado actual de la humanidad —nuestra civilización, nuestra alimentación, nuestros usos y costumbres— va a cambiar radicalmente en los próximos lustros.

Y va a cambiar en la dirección opuesta de los cambios que ocurrieron en el siglo de oro del animal humano. El mundo volverá a ser un lugar grande. La vida volverá a ser local, precaria y menesterosa. La energía, el agua y el alimento volverán a ser bienes preciados cuyo desperdicio será impensable. La naturaleza volverá a ser hostil. El lugar, en ese mundo, de los bienes más preciados de la modernidad —la libertad, la educación, la democracia, la igualdad, la paz— que, aunque no hayan alcanzado cobertura universal, se extendieron como nunca antes durante la fiesta, se verá amenazado. Es comprensible que nos queramos preparar para ese viaje. Que realicemos el ejercicio de escoger lo que *queremos* guardar y acumulemos la evidencia que nos permita saber lo que *podemos* guardar. Incluso si la alarma resulta falsa, el ejercicio nos servirá para recordar y valorar los eventos del vertiginoso camino que hemos recorrido durante el siglo de oro del animal humano que, si estamos en un error, será apenas el primero.

Pero si resulta que la alarma está sustanciada, este ejercicio es una condición necesaria —que no suficiente— para nuestra viabilidad futura como civilización y, quizá, como especie.

El mundo finito, de Carlos Amador, se terminó de imprimir y encuadernar en octubre de 2010 en Impresora y Encuadernadora Progreso, S. A. de C. V. (IEPSA), Calzada San Lorenzo, 244; 09830 México, D. F. En su composición se utilizaron tipos New Aster Lt Std. La edición consta de 3000 ejemplares.

Cada civilización es sólo la expresión de una forma de consumo de energía, y los combustibles fósiles que sustentan la nuestra pronto comenzarán a ser insuficientes. La debacle puede ocurrir en varios niveles: desde el escenario apocalíptico de la desaparición de la especie; el poco menos apocalíptico de la desaparición de la civilización como la conocemos; hasta el de una modificación del orden mundial que a fin de cuentas resulte en una forma de vida más racional y, sobre todo, sustentable.

Carlos Amador ofrece un panorama sobre la viabilidad del estado actual de la humanidad como sociedad y como especie. Parte de la tesis de que el hombre está viviendo una "época de oro" y que este hecho ha creado la ilusión de que el progreso humano es infinito, percepción falsa por infundada: nada puede crecer indefinidamente en un mundo finito.

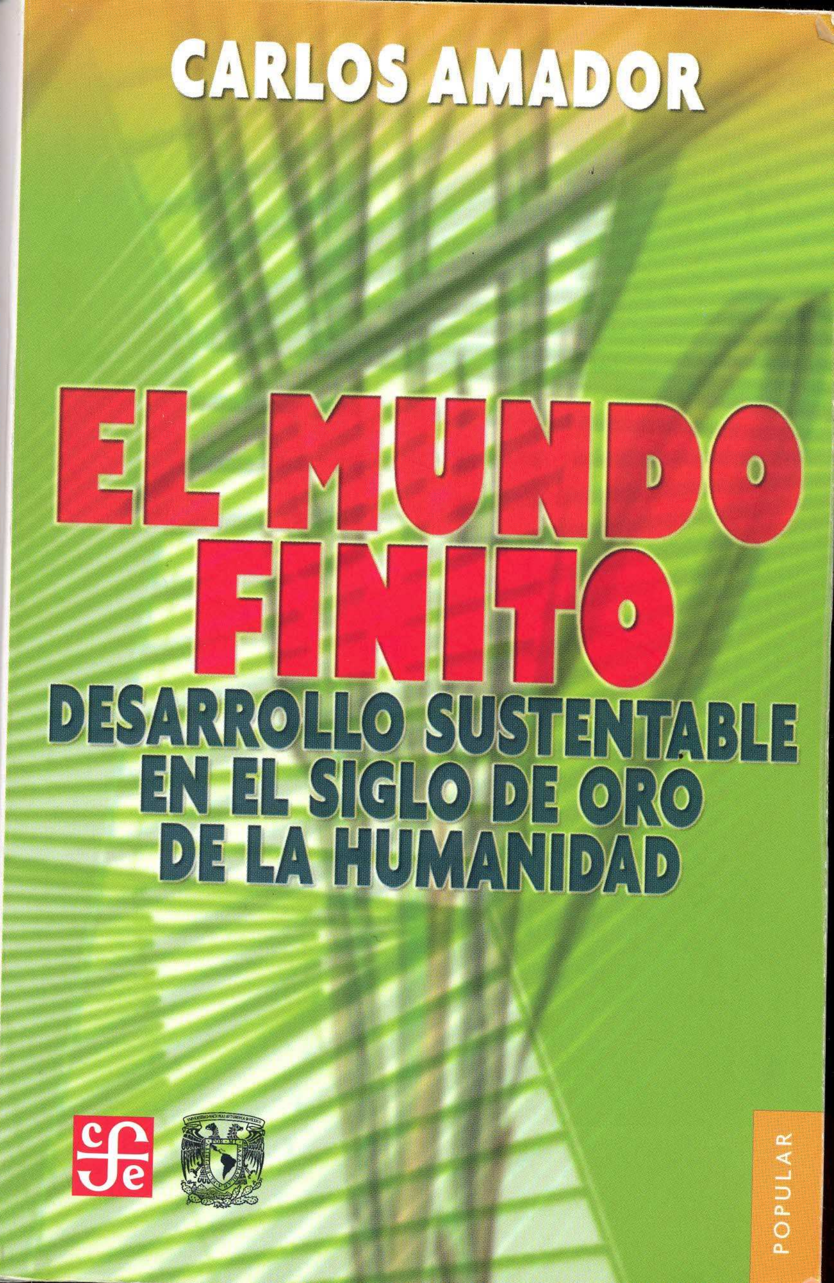
Carlos Amador es doctor en fisicoquímica por la UNAM y profesor en la Facultad de Química. Ha trabajado en estancias posdoctorales y sabáticas en física, ciencia de materiales y química, y se especializa en química computacional. Ha publicado muy diversos artículos de investigación, docencia y difusión. Es coautor del libro *La huelga del fin del mundo*.

9 786071 604293

CARLOS AMADOR

EL MUNDO FINITO

698



CARLOS AMADOR

EL MUNDO FINITO

DESARROLLO SUSTENTABLE EN EL SIGLO DE ORO DE LA HUMANIDAD

POPULAR